



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Escola Universitaria Politécnica

Grado en Ingeniería Eléctrica

TRABAJO DE FIN DE GRADO

TFG Nº: 770G02A173

TÍTULO: ESTUDIO DE LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA PARA UNA VIVIENDA

AUTOR: JOSÉ MANUEL VÁZQUEZ FERRERO

**TUTOR: JOSÉ LUIS CASTELEIRO ROCA
ESTEBAN JOVE PÉREZ**

FECHA: FEBRERO DE 2019

Fdo.: EL AUTOR

Fdo.: EL TUTOR

TÍTULO: ESTUDIO DE LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA PARA UNA VIVIENDA

ÍNDICE

PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

AVDA. 19 DE FEBREIRO, S/N

15405 - FERROL

FECHA: FEBRERO DE 2019

AUTOR: EL ALUMNO

Fdo.: JOSÉ MANUEL VÁZQUEZ FERRERO

I	ÍNDICE	3
	Contenidos del TFG	5
	Listado de figuras	9
	Listado de tablas	11
II	MEMORIA	15
	Índice del documento Memoria	17
1	Objeto	19
2	Alcance	19
3	Antecedentes	20
3.1	Introducción a la energía solar térmica	20
3.2	Consumos de una vivienda	21
4	Normas y referencias	21
4.1	Disposiciones legales y normas aplicadas	21
4.2	Bibliografía	21
4.3	Programas de cálculo	22
4.4	Otras referencias	22
5	Definiciones y abreviaturas	22
6	Requisitos de diseño	23
7	Análisis de las soluciones	23
7.1	Tipos de instalaciones solares térmicas	23
7.1.1	Tipo de fluido calentado	23
7.1.2	Tipo de sistema de circulación	25
7.2	Partes de una instalación solar térmica	27
7.2.1	Captadores	27
7.2.2	Circuito primario	39
7.2.3	Intercambiador de calor	40
7.2.4	Depósito	46
7.2.5	Circuito secundario	50
7.2.6	Bombas	51
7.2.7	Vaso de expansión, válvulas y otros accesorios	52
7.2.8	Tuberías	56
7.2.9	Sistema de control	57
7.2.10	Sistemas auxiliares	57
7.3	Geotermia	60
7.3.1	Bomba de calor	61
7.3.2	Tipos de energía geotérmica	62
8	Resultados finales	65
8.1	Procedimiento de cálculo	65
8.1.1	Cálculo de la temperatura del agua de la red	66

8.1.2	Cálculo de las necesidades de ACS	66
8.1.3	Cálculo de las necesidades de calefacción	68
8.1.4	Cálculo de las pérdidas de la instalación	77
8.1.5	Aplicación del método F-Chart	79
8.1.6	Geotermia	85
8.2	Mantenimiento de las instalaciones	89
8.2.1	Mantenimiento preventivo	90
8.2.2	Mantenimiento correctivo	91
8.3	Conclusiones	91
8.3.1	Conclusiones de la instalación solar térmica	91
8.3.2	Conclusiones de la instalación geotérmica	93
III	ANEXOS	97
	Índice del documento Anexos	99
9	Documentación de partida	101
10	Cálculos	104
10.1	Cálculo de características del agua	104
10.1.1	Agua caliente sanitaria	104
10.2	Instalación solar térmica	104
10.2.1	Método de cálculo F-Chart	111
10.3	Geotermia	115
10.3.1	Cálculo potencia calorífica necesaria	115
10.3.2	Temperatura máxima de entrada del evaporador	116
10.3.3	Longitud de la sonda geotérmica vertical	116
IV	PLANOS	117
	Índice del documento Planos	119
	Fachada	121
	Distribución	123
	Instalación solar térmica	125
	Esquema de la instalación solar térmica	127
	Instalación geotérmica	129
	Esquema de la instalación geotérmica	131
V	PLIEGO DE CONDICIONES	133
	Índice del documento Pliego de condiciones	135
11	Pliego de condiciones	137
VI	MEDICIONES	139
	Índice del documento Mediciones	141
12	Estado de las mediciones	143
12.1	Instalación solar térmica	143

12.2 Instalación geotérmica	144
VII PRESUPUESTO	145
Índice del documento Presupuesto	147
13 Precios unitarios de materiales y elementos auxiliares de la instalación solar térmica	149
14 Precios unitarios de materiales y elementos auxiliares de la instalación geotérmica .	151
15 Precio de la mano de obra	152
16 Presupuesto	153
16.1 Presupuesto de la instalación solar térmica	153
16.2 Presupuesto de la instalación geotérmica	154

Listado de figuras

1	Caja caliente (procoler.com)	20
2	Circuito abierto (ekidom.com)	24
3	Circuito cerrado (ekidom.com)	24
4	Ejemplo de termosifón (merkasol.com)	25
5	Funcionamiento de los captadores por termosifón (energiasrenovablesylimpias.com)	26
6	Instalación solar térmica	27
7	Ejemplo captador solar (suenergiasolar.com)	27
8	Partes de un captador solar (lugararquitectos.com)	28
9	Ejemplo de un captador solar de placa plana (instalacionesyeficienciaenergética.com)	29
10	Forma 1 absorbedor	29
11	Forma 2 absorbedor	30
12	Forma 3 absorbedor	30
13	Tubería del captador tipo serpentín	31
14	Tubería del captador tipo parrilla	31
15	Captador de tubos de vacío (construnario.com)	32
16	Captador de tubos de vacío tipo heat pipe (skenta.com)	33
17	Captador de tubos de vacío tipo Sydney (Libro Sistemas Solares térmicos)	33
18	Captador de tubos de vacío tipo flujo directo (simelec.es)	34
19	Captador de tubos de vacío tipo schott (newenergyupdate.com)	34
20	Ejemplo de montaje de un captador en el suelo (hogarmania.com)	35
21	Ejemplo de montaje de un captador en cubierta plana (gasfriocalor.com)	35
22	Captador sin integración física (researchgate.com)	36
23	Captador con integración física (ansoltec.com)	37
24	Central solar (abengoasolar.com)	37
25	Captadores cilindro-parabólicos (solarmillenium.com)	38
26	Receptores lineales de Fresnel (enerstar.com)	38
27	Captadores Disco parabólicos (opex-energy.com)	39
28	Ejemplo intercambiador de calor (cupersa.com)	40
29	Ejemplo de unidad de tratamiento del aire (archiexpo.com)	41
30	Gráfico de flujo en paralelo	42
31	Gráfico de flujo a contracorriente	43
32	Intercambiador de serpentín (caloryfrio.com)	44

33 Intercambiador de tubos concéntricos (emaze.com)	44
34 Intercambiador de doble pared (caloryfrio.com)	45
35 Intercambiador de placa (saincal.com)	46
36 Ejemplo de depósito (inerox.com)	47
37 Diferencia entre depósito sin estratificar y estratificado (solarweb.com)	48
38 Acumulador (ingemecanica.com)	49
39 Interacumuladores con 1 y 2 serpentines (ingemecanica.com)	49
40 Esquema del circuito secundario	51
41 Bomba de circulación de superficie (Sodimac.com)	51
42 Bomba de circulación sumergible (valomix.com)	52
43 Ejemplo de vaso de expansión abierto (ferreteriacornellana.com)	53
44 Ejemplo de vaso de expansión cerrado (ingemecanica.com)	53
45 Ejemplo de válvula de paso (fidemar.com)	54
46 Ejemplo de válvula de seguridad (veratec.com)	55
47 Ejemplo de purgador (repuestoscalefaccion.com)	56
48 Ejemplo de caldera de gasoil (gasfriocalor.com)	58
49 Ejemplo de caldera de gas (leroymerlin.es)	59
50 Ejemplo de caldera de biomasa (gasfriocalor.com)	59
51 Diagrama de temperaturas a 20 metros de profundidad (instalacionesyeficienciae- nergetica.com)	60
52 Esquema de funcionamiento de una bomba de calor (coapinavarra.org)	61
53 Esquema de funcionamiento de una bomba de calor tipo aire-aire en verano e invierno (i-ambiente.es)	62
54 Sistema geotérmico con sonda vertical (geotermiag4.es)	64
55 Sistema geotérmico con sonda horizontal (geotermiag4.es)	65
56 Zonas climáticas de la Península Ibérica	71
57 Mapa de Zonas climáticas de la Península Ibérica	72
58 Gráfico de la radiación diaria media mensual histórica	80
59 Gráfico del rendimiento del captador	83

Listado de tablas

1	Utilizaciones Geotermia según temperatura	63
2	Diferencia de altura entre Cee y A Coruña	66
3	Demanda de referencia a 60°C	67
4	Consumo diario ACS	67
5	Área de las estancias de la casa	69
6	Constantes según orientación de la vivienda	69
7	Constantes según tipo de aislamiento de la vivienda	70
8	Constantes según zona climática	72
9	Comparativa de consumos entre calefacción por radiadores y por suelo radiante	77
10	Entalpías de los fluidos del intercambiador	78
11	Radiación diaria media mensual histórica	80
12	Cobertura solar anual	85
13	Mantenimiento preventivo del sistema de captación	90
14	Mantenimiento preventivo del sistema de acumulación	90
15	Mantenimiento preventivo del intercambiador	90
16	Mantenimiento preventivo del sistema hidráulico	91
17	Número de paneles necesarios para cubrir toda la demanda	92
18	Aportación caldera de biomasa en kWh	93
19	Comparativa de las amortizaciones de las diferentes instalaciones	94
20	Temperatura del agua de la red en Cee	104
21	Energía mensual necesaria para elevar la temperatura a 60°C (ideal)	105
22	Potencia necesaria por estancia	105
23	Número de elementos necesarios	106
24	Potencia emitida por los radiadores	106
25	Caudal necesario	107
26	Litros necesarios al día	107
27	Energía necesaria para calefacción por radiadores	108
28	Caudal necesario para calefacción por suelo radiante	108
29	Consumo calefacción radiante en litros	109
30	Energía necesaria para calefacción por suelo radiante	109
31	Energía total necesaria para ACS y calefacción	110
32	Pérdidas mensuales del acumulador	110
33	Energía necesaria a la entrada del depósito	111

34	Energía necesaria a la entrada del intercambiador de calor	111
35	Energía absorbida por el captador	112
36	Valores del parámetro D_1	112
37	Valor del parámetro K_1	112
38	Valores del parámetro K_2	113
39	Energía perdida por el captador	113
40	Valores del parámetro D_2	114
41	Fracción de carga calorífica mensual	114
42	Energía útil mensual captada	115
43	Potencia calorífica necesaria	115
44	Temperatura de entrada del evaporador	116
45	Factor de carga de la instalación	116
46	Longitud de las sondas verticales	116
47	Estado de mediciones de los elementos de la instalación solar térmica	143
48	Estado de mediciones de las tuberías de la instalación solar térmica	144
49	Estado de mediciones de los elementos de la instalación geotérmica	144
50	Estado de mediciones de las tuberías de la instalación geotérmica	144
51	Precio por unidad de los captadores solares térmicos	149
52	Precio por unidad del kit de bomba solar	149
53	Precio por unidad del intercambiador de calor	149
54	Precio por unidad del vaso de expansión	149
55	Precio por unidad del acumulador	150
56	Precio por unidad de la caldera de biomasa	150
57	Precio por unidad de la bomba de circulación de la caldera	150
58	Precio por unidad del suelo radiante	150
59	Precio por unidad de las tuberías de conexionado	151
60	Precio por unidad fluido refrigerante	151
61	Precio por unidad de la sonda geotérmica vertical	151
62	Precio por unidad de la bomba geotérmica	151
63	Precio por unidad del acumulador	152
64	Precio por unidad del suelo radiante	152
65	Precio por unidad de las tuberías	152
66	Precio de la mano de obra	153
67	Presupuesto de generación de la instalación solar térmica	153
68	Presupuesto de distribución de la instalación solar térmica	153
69	Presupuesto de acumulación y consumo de la instalación solar térmica	154
70	Presupuesto de diseño de la instalación solar térmica	154
71	Presupuesto total de la instalación solar térmica	154
72	Presupuesto de generación de la instalación geotérmica	154
73	Presupuesto de distribución de la instalación geotérmica	155
74	Presupuesto de acumulación y consumo de la instalación geotérmica	155

75 Presupuesto de diseño de la instalación geotérmica	155
76 Presupuesto de la instalación geotérmica	155

TÍTULO: ESTUDIO DE LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA PARA UNA VIVIENDA

MEMORIA

PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

AVDA. 19 DE FEBREIRO, S/N

15405 - FERROL

FECHA: FEBRERO DE 2019

AUTOR: EL ALUMNO

Fdo.: JOSÉ MANUEL VÁZQUEZ FERRERO

Índice del documento MEMORIA

1 Objeto	19
2 Alcance	19
3 Antecedentes	20
3.1 Introducción a la energía solar térmica	20
3.2 Consumos de una vivienda	21
4 Normas y referencias	21
4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas	21
4.2 Bibliografía	21
4.3 Programas de cálculo	22
4.4 Otras referencias	22
5 Definiciones y abreviaturas	22
6 Requisitos de diseño	23
7 Análisis de las soluciones	23
7.1 Tipos de instalaciones solares térmicas	23
7.1.1 Tipo de fluido calentado	23
7.1.1.1 Circuito abierto	23
7.1.1.2 Circuito cerrado	24
7.1.2 Tipo de sistema de circulación	25
7.1.2.1 Termosifón	25
7.1.2.2 Circulación forzada	26
7.2 Partes de una instalación solar térmica	27
7.2.1 Captadores	27
7.2.1.1 Captadores de baja temperatura	28
7.2.1.2 Captadores de alta y muy alta temperatura	37
7.2.1.3 Conexionado de los paneles solares en serie	39
7.2.1.4 Conexionado de los paneles solares en paralelo	39
7.2.2 Circuito primario	39
7.2.3 Intercambiador de calor	40
7.2.4 Depósito	46
7.2.5 Circuito secundario	50
7.2.6 Bombas	51
7.2.7 Vaso de expansión, válvulas y otros accesorios	52
7.2.8 Tuberías	56
7.2.9 Sistema de control	57

7.2.10	Sistemas auxiliares	57
7.3	Geotermia	60
7.3.1	Bomba de calor	61
7.3.2	Tipos de energía geotérmica	62
7.3.2.1	Clasificación según temperatura del terreno	63
7.3.2.2	Tipos de instalaciones geotérmicas con bomba de calor	63
8	Resultados finales	65
8.1	Procedimiento de cálculo	65
8.1.1	Cálculo de la temperatura del agua de la red	66
8.1.2	Cálculo de las necesidades de ACS	66
8.1.3	Cálculo de las necesidades de calefacción	68
8.1.3.1	Calefacción tipo radiador	73
8.1.3.2	Calefacción tipo suelo radiante	75
8.1.4	Cálculo de las pérdidas de la instalación	77
8.1.4.1	Pérdidas del acumulador	77
8.1.4.2	Pérdidas del intercambiador de calor	78
8.1.5	Aplicación del método F-Chart	79
8.1.5.1	Cálculo de la energía absorbida por el captador solar	79
8.1.5.2	Energía perdida por el captador solar	81
8.1.5.3	Cálculo de la fracción de carga calorífica mensual	84
8.1.5.4	Cálculo de la energía útil captada	84
8.1.5.5	Cálculo de la cobertura solar anual	84
8.1.6	Geotermia	85
8.1.6.1	Cálculo potencia calorífica necesaria	85
8.1.6.2	Temperatura de máxima de entrada del evaporador	86
8.1.6.3	Longitud de la sonda geotérmica vertical	87
8.2	Mantenimiento de las instalaciones	89
8.2.1	Mantenimiento preventivo	90
8.2.2	Mantenimiento correctivo	91
8.3	Conclusiones	91
8.3.1	Conclusiones de la instalación solar térmica	91
8.3.2	Conclusiones de la instalación geotérmica	93

1 Objeto

El objeto de este TFG (Trabajo Final de Grado) es la realización de un estudio de las posibles soluciones mediante energías renovables en una vivienda unifamiliar ubicada en la localidad de Cée (A Coruña).

El TFG incluirá el estudio de los consumos típicos de calefacción y ACS (Agua Caliente Sanitaria) de una vivienda, así como, el dimensionamiento de la instalación para atender dichos consumos. En el dimensionamiento de la instalación se incluirá, en caso de ser necesario, un aporte de energía auxiliar, que incluirá otra energía renovable. Se estudiará el dimensionamiento de un tanque de inercia según el consumo y la ubicación geográfica.

2 Alcance

El alcance del presente TFG incluye:

- Estudio de las instalaciones solares térmicas presentes en el mercado así como cada una de sus partes.
- Estudio de los acumuladores de inercia presentes en el mercado.
- Estudio de los consumos típicos de una vivienda tanto de ACS como de calefacción.
- Estudio sobre el dimensionamiento de un acumulador de inercia para la instalación solar térmica.
- Cálculo y dimensionamiento de una instalación solar térmica, con ayuda, de ser necesario, de una caldera de biomasa u otra energía renovable.

3 Antecedentes

3.1. Introducción a la energía solar térmica

Desde la antigüedad, la humanidad ha intentado aprovechar la radiación solar para diferentes fines. A diferencia de la energía solar fotovoltaica, no se puede esclarecer con exactitud cuándo se empezó a realizar dicho aprovechamiento.

El primer colector solar se le puede otorgar al suizo Horace Bénédicte de Saussure que inventó en 1767 la llamada caja caliente (figura 1). Consistía en un recipiente cuadrado con todas las caras negras menos una que poseía un cristal. La caja utilizaba el efecto invernadero para atrapar la radiación y ser capaz de alcanzar entorno a los 110°C. Fue el primer conato de aprovechamiento para calentar agua con energía solar. Todos los inventos posteriores entorno a los colectores solares para calentar agua surgirían a partir de éste.

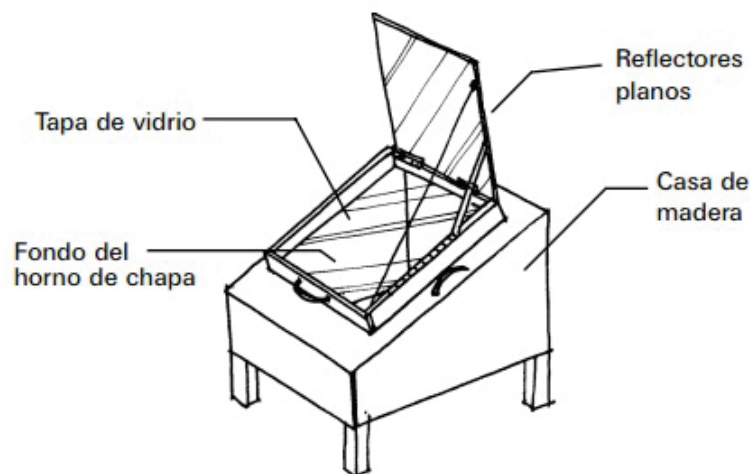


Figura 1 – Caja caliente (procoler.com)

Con anterioridad se aprovechó la radiación solar para otros usos tales como calentar estancias, sistemas de iluminación u hornos solares, pero no para el aprovechamiento para agua caliente sanitaria.

Debido a lo caras y peligrosas que eran las calderas de gas y carbón, a lo largo del siglo XIX se desarrollaron los calentadores solares. Éstos eran básicamente unos recipientes negros que se situaban al sol para así calentarse. La gran desventaja que tenían era que por las noches se enfriaba muy rápido el agua y hacía falta una gran radiación para elevar la temperatura.

No fue hasta 1891 cuando el estadounidense Clarence Kemp invento el calentador “Climax”. Combinaba el calentador solar con la caja caliente logrando así mayores temperaturas con menor radiación y que aguantase más tiempo. El uso de este método fue muy extendido por todo EEUU. El “Climax” fue la primera patente a nivel comercial de sistema de calenta-

miento de agua por radiación solar.

3.2. Consumos de una vivienda

Según el Documento Básico de Ahorro de energía la demanda de Agua Caliente Sanitaria para una vivienda unifamiliar es de 28 litros por persona y día. Dicha demanda se refiere al ACS a 60°C, además la demanda incluye todos los usos posibles de la misma, tales como el higiene personal, el lavavajillas así como cualquier uso que se le pueda otorgar exceptuando la calefacción que posee un circuito cerrado independiente.

4 Normas y referencias

4.1. Disposiciones legales y normas aplicadas

Pliego de condiciones del IDAE- Esta norma ha sido consultada para la aplicación del método Fchart.

Código Técnico de la Edificación (CTE)- En concreto ha sido utilizado el Documento Básico HE Ahorro de Energía:

- **HE 2.** Utilizado para la determinación de la zona climática.
- **HE 4.** Utilizado para los cálculos de las placas solares térmicas así como para la determinación del consumo necesario de ACS en la vivienda.

DOG 171 Código de la Vivienda de Galicia 2018- Utilizada para determinar el tamaño mínimo de cada estancia de la vivienda.

Norma UNE EN 1264 Utilizada para el cálculo de la calefacción de suelo radiante.

Norma UNE EN 14511-2 Utilizada para la temperatura de salida del evaporador en geotermia.

4.2. Bibliografía

- [1] MÉNDEZ MUÑOZ, J.M., CUERVO GARCÍA, R; *Energía Solar Térmica*, Madrid, FC Editorial, 2009.
- [2] PEUSER, F.A., REMMERS, K.H., SCHNAUSS, M., *Sistemas Solares Térmicos*, Sevilla, Progensa, 2005.
- [3] IBAÑEZ PLANA, M., ROSELL POLO, J.R., ROSELL URRUTIA, J.I. , *Tecnología Solar*, Madrid, Ediciones Mundi-Prensa, 2005.

- [4] FÉRNANDEZ SALGADO, J.M., *Compendio de Energía Solar: Fotovoltaica, Térmica y Termoeléctrica*, Madrid, AMV Ediciones, 2010.
- [5] PEREDA SUQUET, P., PÉREZ ÁLVAREZ, A, *Proyecto y Cálculo de Insatallaciones Solares Térmicas*, Madrid, Ediciones de Arquitectura, 2006.
- [6] VÁZQUEZ VÁZQUEZ, M, *Atlas de Radiación Solar de Galicia*, Vigo, Universidad de Vigo, 2005.
- [7] CREUS SOLÉ, A, *Energía Geotérmica de Baja Temperatura*, Murcia, Ediciones Ceysa, 2008.
- [8] INEGA, *Manual de Climatización Geotérmica*, Vigo, ACLUXEGA, 2013.

4.3. Programas de cálculo

MathWorks - MATLAB R2017a
Autodesk - Autocad 2018
Microsoft Office - Excel 2016
Engineering Equation Solver

4.4. Otras referencias

- [1] *Meteogalicia*, Xunta de Galicia, [Consulta 4 septiembre 2018]. Disponible en: <http://www.meteogalicia.gal/web/index.action>

5 Definiciones y abreviaturas

TFG- Trabajo Fin de Grado.
ACS- Agua Caliente Sanitaria.
CTE- Código Técnico de la Edificación.
DB HE- Documento Básico de Ahorro de la Energía.
TIM- Transparent Insulation Materials.
PVD- Physical Vapour Deposition.
CPC- Captador de Concentración Cilindro Parabólico Compuesto.
UTA- Unidad de tratamiento del Aire.
IDAE- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
EES- Engineering Equation Solver.

PEX- Polietileno reticulado.

COP- Coeficiente de eficiencia energética en modo calefacción.

6 Requisitos de diseño

Como requisitos de diseño para este TFG cabe señalar la exigencia del tutor de los cálculos termodinámicos de pérdidas y de volúmenes de la instalación. En múltiples “guías” se describen los pasos a seguir para el diseño de instalaciones similares a la de este TFG, pero se ha tratado de realizar el cálculo sin seguir una en concreto, sino mediante los cálculos termodinámicos y rendimientos necesarios. Además, cabe señalar que en el TFG no se realiza un diseño en sí de una instalación, sino el diseño energético previo; ya que la idea del tutor era no hacer un diseño estándar y sí investigar el aprovechamiento y viabilidad de la energía solar térmica y geotérmica.

7 Análisis de las soluciones

Para la vivienda objeto de este TFG se propone un sistema solar térmico o un sistema geotérmico para cubrir las necesidades tanto de ACS como para calefacción. Es por ello que a continuación se analizarán las diferentes soluciones que aporta el mercado.

7.1. Tipos de instalaciones solares térmicas

Existen diferentes tipos de instalaciones solares térmicas, atendiendo a diferentes clasificaciones tales como: el fluido que calentamos en los colectores o el sistema de circulación del fluido por los colectores solares, por poner unos ejemplos.

7.1.1. Tipo de fluido calentado

Según el fluido a calentar podemos diferenciar dos grandes grupos de instalaciones:

7.1.1.1. Circuito abierto

En este tipo de instalación el fluido a calentar es el propio agua de consumo, es decir, el agua pasa directamente por los colectores. Esto tiene la ventaja de que es más barato ya que

tienes menos componentes en la instalación (como podemos observar en la figura 2) además de ser más eficiente. La desventaja de este tipo de instalación es que puede afectar a la calidad del agua usada, así como causar problemas en lugares fríos ya que puede llegar a congelarse con las temperaturas nocturnas.

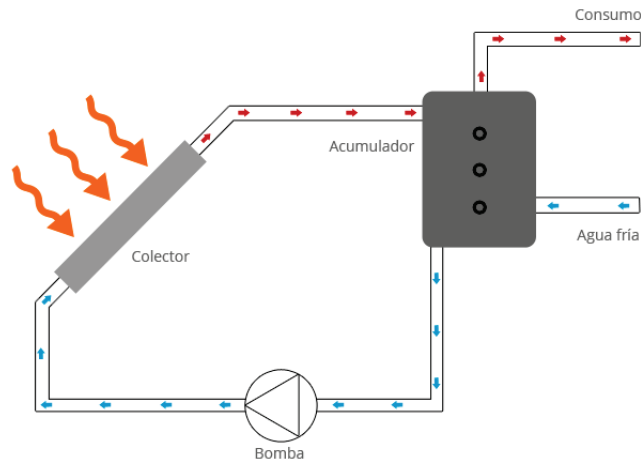


Figura 2 – Circuito abierto (ekidom.com)

7.1.1.2. Circuito cerrado

En este tipo de instalación el agua de consumo no pasa directamente por los captadores solares, se utiliza un fluido caloportador que después realiza un intercambio térmico con el agua, como vemos en la figura 3. Es el sistema más utilizado en la actualidad ya que es el sistema más completo, no existe riesgo de congelación y se mantiene la calidad del agua.

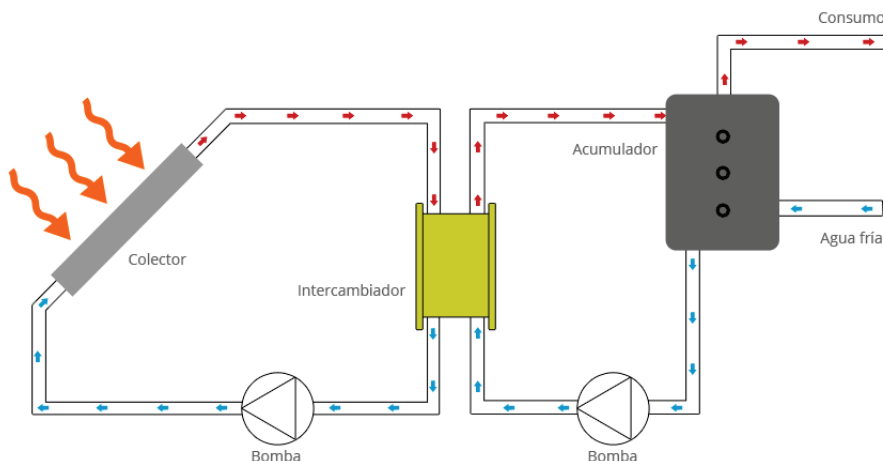


Figura 3 – Circuito cerrado (ekidom.com)

Dentro del circuito cerrado hay dos tipos:

1. Intercambiador de calor interno

Que sería el que posee el intercambiador de calor dentro del depósito de acumulación, que en estos casos recibirá el nombre de interacumulador.

2. Intercambiador de calor externo

Es el que posee un intercambiador fuera del acumulador. Es el que se puede observar en la figura 3. Se desarrollará este tema dentro del apartado de intercambiadores, en la sección 7.2.3

7.1.2. Tipo de sistema de circulación

Dependiendo del sistema de circulación utilizado en la instalación térmica solar se pueden distinguir dos grandes campos.

7.1.2.1. Termosifón

El termosifón (figura 4) es un tipo de instalación que se caracteriza principalmente por la ausencia de bomba de circulación.



Figura 4 – Ejemplo de termosifón (merkasol.com)

El fluido en este tipo de instalación avanza, por convección natural, es decir, avanza debido a las diferencias de densidades producidas por las diferentes temperaturas a las que está el fluido. Éste asciende por el captador a medida que se va calentando por la radiación solar, ya que el fluido caliente tiene menos densidad que el frío.

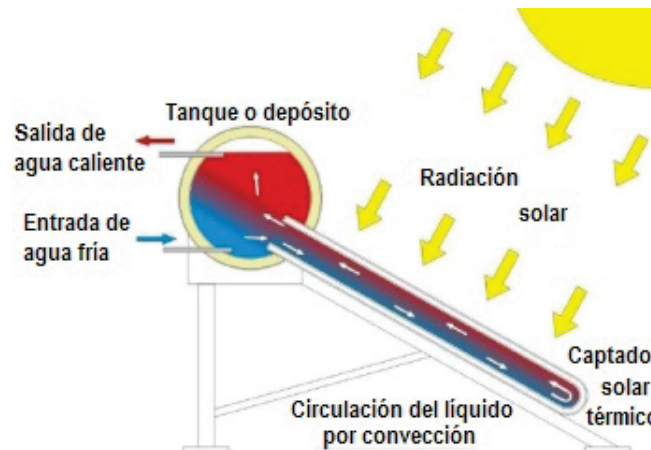


Figura 5 – Funcionamiento de los captadores por termosifón (energiasrenovablesylimpias.com)

En la parte superior del captador posee el acumulador, como puede observarse en la figura 5, que almacena el fluido calentado en la parte de arriba y por la parte de abajo devuelve el frío hacia el captador.

La fuerza con la que asciende el fluido es relativamente pequeña, debido a esto, las tuberías tienen que ser de un diámetro lo suficientemente grande como para que las pérdidas de carga sean mínimas. Además, deben ser tramos cortos y rectos.

En este tipo de instalaciones existen principalmente dos grupos:

- Los sistemas cerrados que son aquellos que tienen un circuito primario propio, es decir, que el fluido que pasa por el captador no es el fluido de consumo (punto 7.1.1.2).
- Los sistemas abiertos son aquellos que el fluido de consumo es el que pasa por el captador (punto 7.1.1.1).

Las ventajas principales de las instalaciones de este tipo son que al funcionar sin bomba y sin ningún tipo de panel de control, pueden usarse en las zonas aisladas que no tengan acceso a energía eléctrica. Además, tienen un bajo coste en comparación con los otros tipos, y son de fácil montaje.

Las desventajas principales son que sólo sirven para instalaciones pequeñas y sobre todo en zonas cálidas, para favorecer la convección del fluido.

El tipo más utilizado es el de circuito cerrado ya que el abierto corre el riesgo de congelación en invierno, además, que en el abierto es más difícil mantener la calidad e higiene del agua.

7.1.2.2. Circulación forzada

Las instalaciones por circulación forzada se caracterizan básicamente por el uso de una bomba de circulación para mover el fluido.

Son las instalaciones más utilizadas actualmente, debido en gran parte a su versatilidad. Pueden ser utilizadas en un gran número de potencias y formas.

Los componentes que forman parte de este tipo de instalaciones son explicados en el punto 7.2 del presente TFG.

7.2. Partes de una instalación solar térmica

Según la Sección Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria (HE4) del DB HE (Documento Básico de Ahorro de la Energía), una instalación térmica se divide principalmente en los componentes que se pueden observar en la figura 6, los cuales se pasarán a describir a continuación.

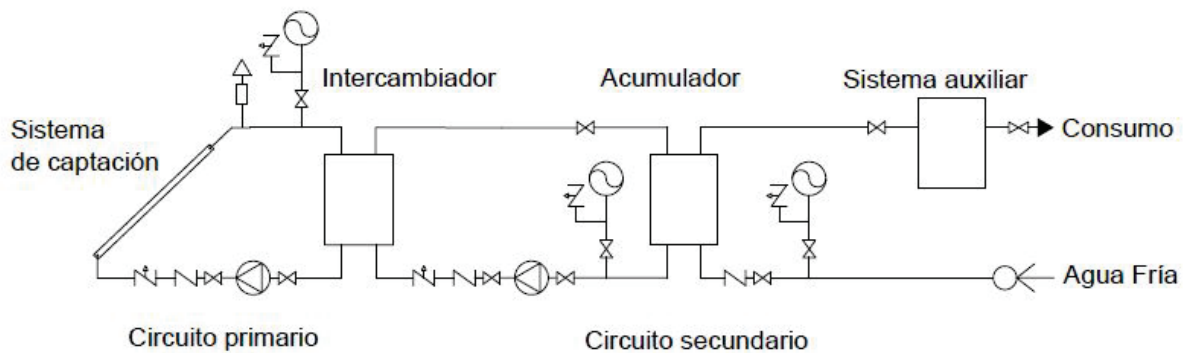


Figura 6 – Instalación solar térmica

7.2.1. Captadores

Los captadores solares (figura 7) tienen la función de captar la energía solar y traspasarla al fluido caloportador, es por ello que tienen una gran importancia dentro de la instalación.



Figura 7 – Ejemplo captador solar (suenergiasolar.com)

Los captadores solares se dividen principalmente en tres grandes campos a partir de su temperatura de trabajo: captadores de baja temperatura, captadores de alta temperatura y captadores de muy alta temperatura.

7.2.1.1. Captadores de baja temperatura

Son los captadores utilizados para uso doméstico o pequeñas necesidades industriales ya que trabajan hasta los 150°C. Los captadores de baja temperatura se dividen principalmente en 5 partes, como se puede observar en la figura 8.

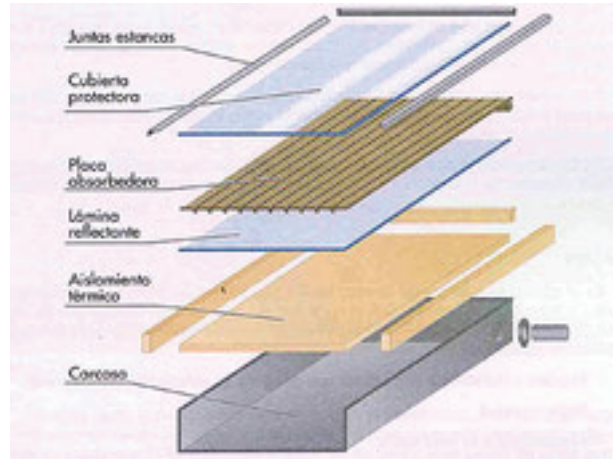


Figura 8 – Partes de un captador solar (lugararquitectos.com)

- **Absorbedor:** Es la parte que recibe la radiación solar, la transforma en energía y la transmite en forma de calor al fluido caloportador. Físicamente, se suele construir como una chapa metálica que posee soldados una serie de tubos por los que circula el fluido. Ésta es la encargada de realizar el efecto invernadero junto con la cubierta (excepto en los captadores de tubo de vacío que no posee cubierta).
- **Aislamiento:** Está situado en la parte trasera del captador. Éste evita que existan pérdidas de calor por la parte trasera del mismo.
- **Cubierta transparente:** Es la parte delantera, es una lámina transparente que protege al absorbedor, además de realizar una función de efecto invernadero. No todos los captadores tienen dicha cubierta, por ejemplo, algunos captadores de tubos de vacío carecen de ella.
- **Tuberías:** Es el medio por el que circula el fluido caloportador.
- **Carcasa:** Es la estructura que sujeta todos los elementos anteriores, además de ser el elemento que sujeta al captador a la casa o soporte que le corresponda.

Los dos tipos existentes en el mercado actual son los captadores de placa plana y los de tubos de vacío.

1. Captadores de placa plana

El captador de placa plana (figura 9) es el más utilizado actualmente en el mercado. En ellos el absorbedor está siempre protegido mediante la cubierta transparente, que actualmente, en los captadores de alta calidad, es de un material llamado vidrio solar. Este

vidrio presenta un bajo contenido en hierro pero, aún así, sigue siendo vidrio endurecido, de baja reflectancia y alta transmitancia. El principio mediante el cual el fluido se calienta es el del efecto invernadero, teniendo lugar el mismo al incidir la radiación en el absorbedor y quedando “atrapada” gracias a la cubierta vidriada.



Figura 9 – Ejemplo de un captador solar de placa plana (instalacionesyeficienciaenergética.com)

Los captadores de placa plana existentes en el mercado se distinguen principalmente por la cubierta utilizada, siendo los más comunes, la cubierta de vidrio y la cubierta de aislamiento térmico transparente (en inglés TIM, Transparent Insulation Materials).

Los captadores TIM presentan una cubierta de un material aislante transparente. Gracias a esta cubierta estos captadores presentan un rendimiento mayor y una temperatura de estancamiento mayor. En contrapartida, son mucho más caros y pesados que los de vidrio convencional. Al ser más pesados los soportes deberán ser más resistentes.

Dentro de los captadores de placa plana una característica que los diferencia entre ellos es la forma en la que está montado el absorbedor, siendo 3 las configuraciones habituales:

- Una única placa absorbedora para todos los tubos soldados y sobre ellos (figura 10). Ésta es la más utilizada por los fabricantes debido a su fácil soldadura. El contacto con los tubos es de manera tangencial.



Figura 10 – Forma 1 absorbedor

- Una placa absorbedora por encima de todos los tubos rodeando ésta la mitad superior del tubo (figura 11). Esta construcción presenta una mayor superficie de contacto entre los tubos y el absorbedor, presentando así mayor transmisión de calor. El gran inconveniente de esta configuración es su mayor coste debido a mayor complejidad en la construcción del mismo, tanto en el curvado de la lámina como en la complejidad de la soldadura.



Figura 11 – Forma 2 absorbedor

- La tercera configuración posible es cualquiera de la dos anteriores pero con una placa absorbidora independiente para cada tubo (figura 12). Esta configuración, junto a la primera comentada, son las más utilizadas en el mercado. Al fabricar pequeñas piezas individuales abarata los costes ya que no es necesaria maquinaria tan grande y sofisticada.

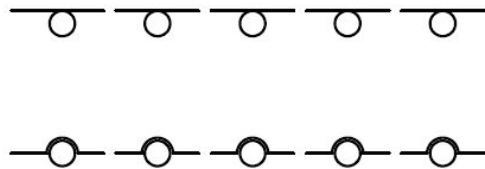


Figura 12 – Forma 3 absorbedor

Los absorbedores están fabricados en diferentes materiales, dentro de los cuales, cabe destacar el acero, el acero inoxidable y el aluminio.

En todo los casos expuestos es necesario que el absorbedor reciba un tratamiento que facilite la absorción de la radiación solar. Algunos de estos tratamientos son por ejemplo níquel negro, cromo negro, PVD (Physical Vapour Deposition), etc.

La tubería que recorre el absorbedor utiliza tres configuraciones posibles, tipo serpentín, tipo parrilla y de circulación libre.

■ Tubería tipo serpentín

En la tubería tipo serpentín, como podemos observar en la figura 13, la tubería recorre el captador formando un serpentín.

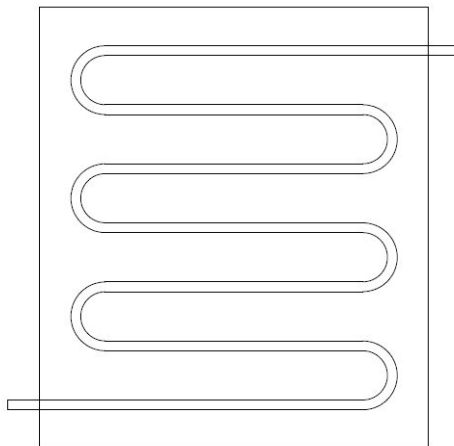


Figura 13 – Tubería del captador tipo serpentín

Las distancias recomendables entre las tuberías son de 10 a 12 cm. Entre las ventajas que posee este tipo de configuración destaca la sencillez en su fabricación y la posibilidad de conectionarlo en paralelo con muchos captadores.

■ **Tubería tipo parrilla**

La tubería tipo parrilla, como podemos observar en la figura 14, consta de dos colectores enfrentados con las tuberías en paralelo conectándolos entre sí.

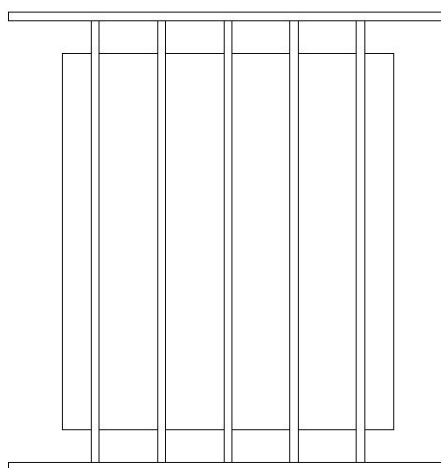


Figura 14 – Tubería del captador tipo parrilla

Es el método más extendido que hay en el mercado para los captadores debido, en mayor medida, a su facilidad de montaje, además de que tienen una menor pérdida de carga que los captadores tipo serpentín y, por último, pueden ser utilizados en instalaciones por termosifón.

■ **Tubería libre circulación**

Este tipo de instalación de las tuberías en los captadores se caracterizan principalmente en que el fluido circula por la totalidad del captador. Los tubos forman una especie de malla que recorre casi la totalidad del captador, debido a esto, los tubos son de un diámetro muy pequeño.

El principal inconveniente de este tipo de captador es su gran complejidad en la fabricación.

Éste captador es comercializado por muy pocas empresas aunque el interés del mercado por él va en aumento.

2. Captadores de tubo de vacío

La principal característica de este tipo de captador (figura 15) es que en los tubos se quita el aire para evitar las pérdidas térmicas por conducción y convección entre el absorbedor y la cubierta de vidrio.



Figura 15 – Captador de tubos de vacío (construnario.com)

Éste tipo de captadores poseen una serie de ventajas como son que pueden alcanzar temperaturas mucho más altas que los planos. De esta manera pueden ser utilizados para ciertos procesos industriales y alcanzar mayor rendimiento en las instalaciones. Al tener vacío dentro de los tubos las pérdidas por calor son mucho más reducidas.

Dentro de los inconvenientes de este tipo de captador cabe señalar que alcanzan una gran temperatura de estancamiento, además de que todos sus componentes tienen que soportar una temperatura muy elevada, aumentando así considerablemente sus costes.

Dentro de este tipo de captadores se diferencian varios tipos, tales como:

a) Heat Pipe

Es un tubo de calor sobre el que se monta el absorbedor. Por el interior del tubo de vacío, como se puede observar en la figura 16, circula una pequeña cantidad de fluido que se evapora debido a la radiación solar. El fluido evaporado asciende a la parte alta del tubo cediendo su calor al fluido que pasa por el distribuidor.

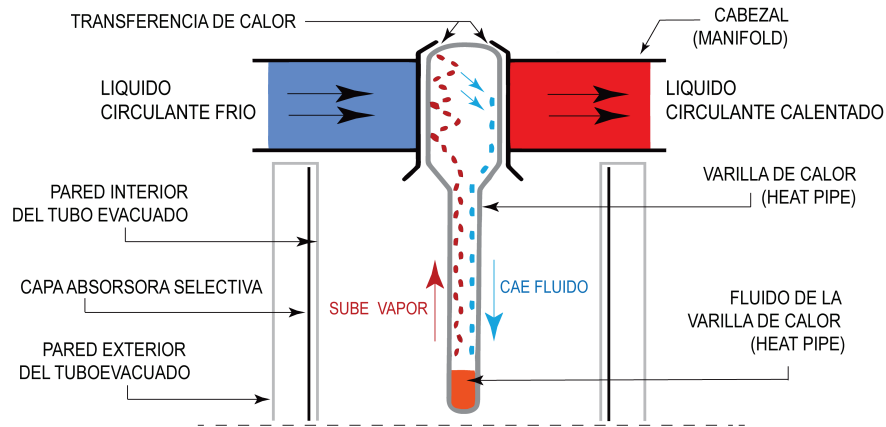


Figura 16 – Captador de tubos de vacío tipo heat pipe (skenta.com)

b) Sydney y Captadores CPC

Son los captadores de tubo de vacío más económicos del mercado y con el peor rendimiento de todos. Como se observa en la figura 17 el tubo ha sido concebido como una doble ampolla, en la que el absorbedor está situado en el propio cristal del tubo. Para evitar sombras debido a este modelo de absorbedor es cilíndrico suele llevar un reflector. El fluido asciende por el tubo y cede el calor al fluido frío caloportador en el colector.

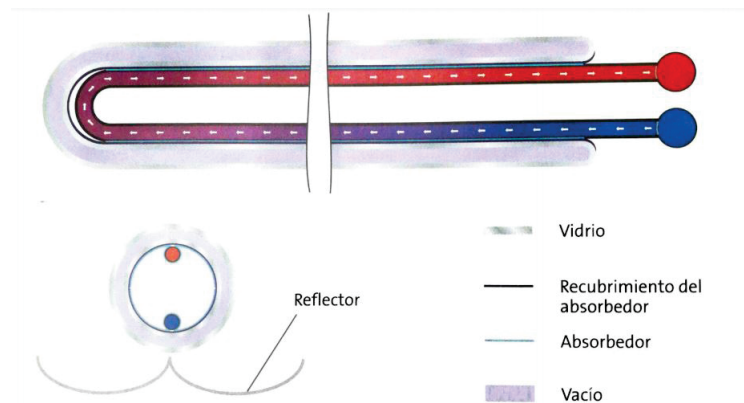


Figura 17 – Captador de tubos de vacío tipo Sydney (Libro Sistemas Solares térmicos)

Los reflectores usados son a su vez concentradores y al conjunto formado por los tubos Sydney y el reflector se le conoce con el nombre de captadores tipo CPC (captador de concentración Cilindro Parabólico Compuesto).

c) Flujo directo

En este tipo de captador el fluido pasa directamente por los tubos de vacío (figura 18). Al calentar directamente el fluido de trabajo es posible lograr rendimientos mucho más altos, ya que no existe las pérdidas al pasar de un fluido a otro.

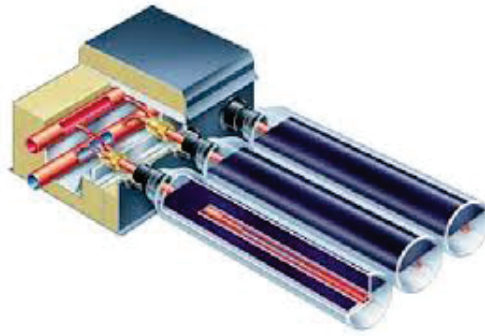


Figura 18 – Captador de tubos de vacío tipo flujo directo (simelec.es)

En los diseños más avanzados de este tipo de captador el absorbedor es capaz de rotar dentro del tubo para poder captar el máximo de radiación posible.

En zonas de escasas nevadas este tipo de captador tiene la ventaja de que puede ser instalado directamente sobre una placa plana. Esto provoca un gran abaratamiento de los costes al instalar una estructura mucho menor, además de poseer una mejor integración arquitectónica al tener menor impacto visual.

d) **Schott**

Como puede observarse en la figura 19, es un tubo de cristal dentro de otro. El tubo externo ejerce de absorbedor y por el interior fluye el fluido de trabajo. Debido a ser un tubo cilíndrico, al igual que el tipo Sydney, debe llevar un reflector.

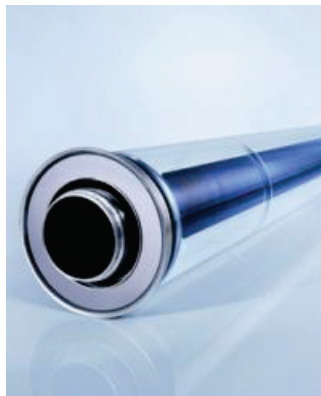


Figura 19 – Captador de tubos de vacío tipo schott (newenergyupdate.com)

3. Tipos de montaje de los captadores

El montaje de los captadores es uno de los aspectos más importantes. Es necesario que sean montados en un lugar en el que se pueda cumplir la inclinación necesaria del mismo. Éste no es el único tema importante que hay que tener en cuenta, también las barreras arquitectónicas y el impacto visual del mismo.

No sólo es importante el método de montaje usado si no que también los materiales con los que está constituido el mismo. Los captadores tienen que ser capaces de soportar las inclemencias del tiempo, como por ejemplo lluvia, nieve, granizo, temperatura mínimas y máximas, etc.

Existen, salvo raras excepciones, tres montajes diferentes de los captadores:

a) Montaje en el suelo

El captador se sitúa en unos soportes metálicos para lograr la inclinación deseada. Éstos a su vez se sitúan directamente sobre el suelo, como podemos observar en la figura 20. También forman parte de este tipo de montaje los situados encima de pequeñas estructuras, tales como pérgolas, pequeños garajes, etc.



Figura 20 – Ejemplo de montaje de un captador en el suelo (hogarmania.com)

Es una de las soluciones más económicas del mercado debido a su facilidad de montaje. El principal inconveniente de este tipo de montaje es que al estar situados en el suelo y ser accesibles corren el riesgo de recibir daños tanto por animales como personas.

b) Montaje en cubiertas planas

El captador se sitúa encima de una cubierta plana, consiguiendo la inclinación necesaria mediante soportes metálicos (figura 21).

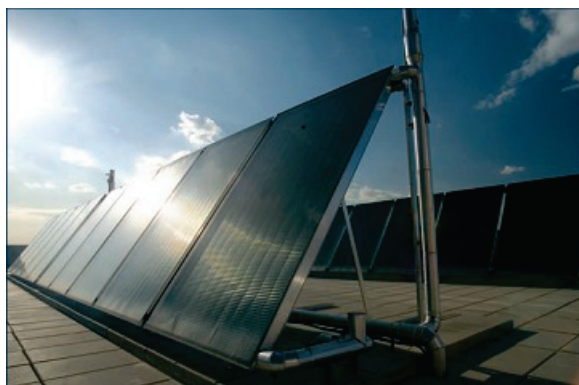


Figura 21 – Ejemplo de montaje de un captador en cubierta plana (gasfriocalor.com)

Si la cubierta está diseñada para soportar cargas distribuidas, los soportes se sitúan en zapatas de hormigón o en estructuras metálicas. En caso contrario, que las cubiertas no puedan soportar las cargas, los costes de instalación aumentan mucho. Se debería optar por estructuras muy caras que repartan las cargas a lo largo de

toda la cubierta. Las estructuras forman una malla y reparten las cargas de los captadores por toda la cubierta, pudiendo ésta así soportar el peso de toda la instalación.

c) **Montaje en cubiertas inclinadas**

Los captadores se montan en una cubierta inclinada, el tejado de una casa por ejemplo, siendo la inclinación de éstas normalmente la misma que les da la cubierta. La inclinación, si así se desea, puede ser corregida mediante una estructura metálica. La estructura metálica supone un encarecimiento de los costes de la instalación.

Dentro de este tipo de instalación existen básicamente dos variantes:

■ **Montaje sin integración física**

El montaje sobre la cubierta (figura 22) se realiza sujetando los captadores mediante unos ganchos especiales para tejados. Es importante, una vez instalados los captadores, que la cubierta quede en el mismo estado de impermeabilidad que poseía antes de la operación.



Figura 22 – Captador sin integración física (researchgate.com)

Este tipo de instalación es el más sencillo y económico. Los captadores en caso de estropearse podrán ser sustituidos con facilidad. Tienen el inconveniente de que poseen un gran impacto visual.

■ **Montaje con integración física**

Como se puede observar en la figura 23 el captador forma parte del mismo tejado, estando éste integrado en él. Las instalaciones de este tipo son mucho más caras ya que se debe realizar obras en el tejado. Este tipo de instalación simula ser una claraboya para así apenas tener impacto visual.



Figura 23 – Captador con integración física (ansoltec.com)

Las instalaciones integradas se recomienda hacerlas a la vez que la construcción de la vivienda o edificio, para de esta manera reducir al máximo los costes. Otra de las desventajas de este tipo de instalación es que el captador poseerá la inclinación del tejado, no podrá regularse para la inclinación óptima reduciendo de esta manera el rendimiento y la capacidad de captación de la instalación.

7.2.1.2. Captadores de alta y muy alta temperatura

Los captadores solares de alta temperatura son aquellos que alcanzan temperaturas superiores a 500°C . Este tipo de captadores son utilizados para la generación de energía eléctrica, ya que con ellos se logra vaporizar un fluido y de esta manera pasarlo por una turbina de vapor.

Dentro de este tipo de captadores cabe destacar principalmente los siguientes:

1. Centrales de torre

Son las instalaciones, como se puede ver en la figura 24, formadas por un campo de espejos que captan y concentran la radiación solar en una torre en la que se produce vapor a muy alta temperatura. El vapor es utilizado para mover una turbina y generar energía eléctrica.



Figura 24 – Central solar (abengoasolar.com)

2. Captadores cilindro-parabólicos

Los captadores cilindro-parabólicos concentran la radiación solar a partir de unos espejos en forma de parábola en una tubería que recoge el centro de dicha parábola (figura 25). Dependiendo del uso que se le va a dar y de la temperatura requerida a este tipo de captador se usará un tipo de fluido u otro.



Figura 25 – Captadores cilindro-parabólicos (solarmillenium.com)

3. Receptores lineales de Fresnel

Estos receptores funcionan igual que los cilindro parabólicos. Para ello los espejos planos se giran, como se puede observar en la figura 26, simulando la forma de cilindro. Éste tipo de instalación tienen la ventaja que es mucho más económica al usar espejos normales y no uno gigante curvado.

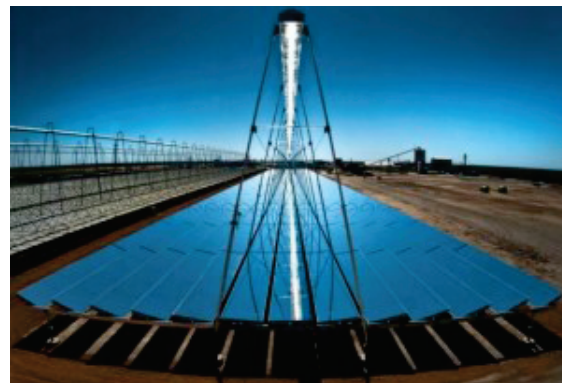


Figura 26 – Receptores lineales de Fresnel (enerstar.com)

4. Discos parabólicos

Los captadores por disco parabólico (27) reciben la radiación por medio de una parabólica y la concentra en un punto fijo en donde vaporizan el fluido de trabajo para después poder turbinarlo.



Figura 27 – Captadores Disco parabólicos (opex-energy.com)

En el conexionado de paneles es obligatorio que por todos los captadores circule el mismo caudal, de esta manera se consigue que todos los captadores trabajen con un rendimiento similar. Los captadores no se instalan en solitario, sino que se agrupan en forma de baterías para reducir el número de accesorios que hay en la instalación. Ésta es una manera de reducir los costes.

Los captadores tienen dos tipos de conexionado, la conexión en serie y la conexión en paralelo.

7.2.1.3. Conexionado de los paneles solares en serie

El tipo de conexionado en serie se utiliza para conseguir temperaturas elevadas pero a costa de reducir el rendimiento general de la instalación. Dentro de las ventajas de este tipo de conexionado cabe destacar que se necesita un menor caudal que en el paralelo lo que implicará un menor coste de la instalación.

7.2.1.4. Conexionado de los paneles solares en paralelo

Es la mejor opción para las instalaciones solares ya que no cae el rendimiento como en los captadores conectados en serie. Es la opción más utilizada en la actualidad. Lo máximo que se aconseja para el conexionado en paralelo son 8 paneles, en caso de superarlo se corre el riesgo de que el caudal no sea homogéneo por todos los captadores.

7.2.2. Circuito primario

Es el circuito cerrado que transporta el fluido caloportador que sale del captador hacia el acumulador. Si el circuito primario transcurre por el exterior hay que tener en cuenta el riesgo de congelación del fluido. En caso de que llegase a congelarse supondría un riesgo para la instalación ya que se podría provocar la rotura de las tuberías.

La protección de la instalación contra dichos riesgos consiste en utilizar un fluido térmico con un punto de congelación 5°C inferior a la menor temperatura histórica de la zona.

Es posible que se dé el caso contrario y que existan problemas de vaporización en la instalación. Es bastante habitual que la instalación ya cuente con un purgador de aire para tales

casos. El uso de agua normal aumenta la posible aparición de dichos problemas ya que tiene una temperatura de vaporización mucho más baja que los líquidos refrigerantes. Los principales causantes de dicho problema son el estancamiento del fluido por falta de circulación, lo que produce una gran vaporización del mismo. Si el circuito tiene aire y no está purgado aumenta también el riesgo de aparición de este tipo de problemas.

Dentro del circuito primario podemos distinguir los siguientes elementos:

- Equipos de seguridad tales como válvulas antiretorno, vasos de expansión, etc.
- Tuberías de conexionado entre los captadores y el intercambiador de calor o, en caso de ser un circuito abierto, las tuberías de conexionado entre los captadores y el acumulador.
- Bomba hidráulica de circulación en caso de que la instalación así lo requiera. Todas las instalaciones requieren de la presencia de una bomba de circulación excepto las de termosifón (apartado 7.1.2.1) que actúan por convección.

7.2.3. Intercambiador de calor

El intercambiador de calor (figura 28) es un elemento diseñado para realizar el intercambio de calor entre dos fluidos separados entre sí, normalmente, por una pared sólida. En las instalaciones solares térmicas el fluido caloportador es el procedente del circuito primario y éste cede la energía térmica al fluido correspondiente al circuito secundario.



Figura 28 – Ejemplo intercambiador de calor (cupersa.com)

Toda instalación de circuito cerrado debe contener un sistema de intercambio de calor entre el fluido calentado por el sistema de captación y el agua que se almacena en el sistema de acumulación. Los intercambiadores se pueden clasificar de diferentes maneras: según el tipo de fluido usado en el intercambio, según la situación de los intercambiadores, según la forma constructiva de los intercambiadores. etc.

1. Tipo de fluido usado.

Los intercambiadores según el tipo de fluido utilizado se pueden dividir en 3:

a) Intercambiador del tipo Aire-Aire

El intercambiador del tipo aire-aire es el que está diseñado para que realice la transferencia térmica de una corriente de aire a otra. Estos intercambiadores suelen ser usados para sistemas de calefacción y aire acondicionado de gran tamaño. Como por ejemplo se utilizan en las UTAs (Unidad de Tratamiento del Aire, figura 29) en las grandes superficies comerciales o naves industriales.

b) Intercambiador del tipo Líquido-Aire

El intercambiador del tipo líquido-aire es el que está diseñado para que realice la transferencia térmica de una corriente de aire a un líquido, o viceversa. Este tipo de intercambiadores son utilizados también en el ámbito de la calefacción y el aire acondicionado. En las UTAs (figura 29) son también muy utilizadas ya que pueden recibir el fluido calentado por las calderas o enfriado por los enfriadores y lo intercambia en la UTA con el aire y, de esta manera, lo reparte por todas las estancias necesarias.



Figura 29 – Ejemplo de unidad de tratamiento del aire (archiexpo.com)

c) Intercambiador del tipo Líquido-Líquido

El intercambiador del tipo líquido-líquido es el que está diseñado para que realice la transferencia térmica de un líquido a otro. En las instalaciones solares térmica como la que es objeto de este TFG son los que más se usan por lo que entraremos más en profundidad en todos los tipos existentes en el apartado 4 del presente TFG.

2. Situación del intercambiador.

Según la manera en que se establece el intercambio de calor se distinguen dos grandes campos:

a) Los intercambiadores de calor internos.

Son aquellos que el intercambiador está situado dentro del depósito de acumulación. Estos depósitos que poseen el intercambiador dentro son los llamados inter-acumuladores.

b) Los intercambiadores de calor externos.

Son aquellos que poseen el intercambiador fuera del depósito de acumulación.

3. Sentido de circulación del flujo.

La elección del sentido de flujo de los intercambiadores es muy importante ya que influye directamente en la temperatura que puede llegar a alcanzar el fluido a calentar. Existen básicamente dos tipos de flujos según su sentido: El flujo en paralelo y el flujo a contracorriente.

a) Flujo en paralelo

Los flujos, tanto el caliente como el frío, entran por el mismo lado del intercambiador buscando entre sí el equilibrio térmico. Podemos observar en la figura 30, como ambos fluidos llegan a un punto en el que dejan de intercambiar calor, ya que llegan al equilibrio térmico. Una vez alcanzado dicho equilibrio da igual que sigan en contacto ya que no se realizará más transferencia de calor. El fluido frío nunca llega a alcanzar la temperatura del caliente, es decir, el fluido frío nunca va a salir con más temperatura de la que va a salir el fluido caliente.

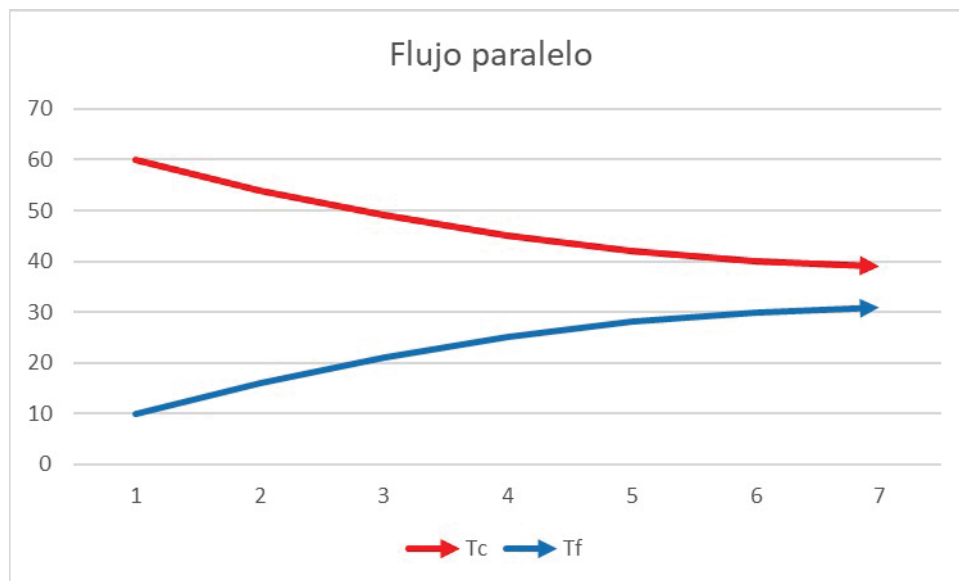


Figura 30 – Gráfico de flujo en paralelo

b) Flujo a contracorriente

Los flujos circulan en la misma dirección pero en sentido contrario, entrado ambos por lugares opuestos del intercambiador. Como se puede comprobar en la figura 31 en este caso el fluido frío de salida sí que puede llegar a superar la temperatura de salida del fluido caliente. Es por ello que este sistema es más eficiente que el de flujo paralelo ya que se pueden alcanzar temperaturas mayores. En este caso cuánto mayor sea el tiempo de contacto mayor será la temperatura alcanzada.

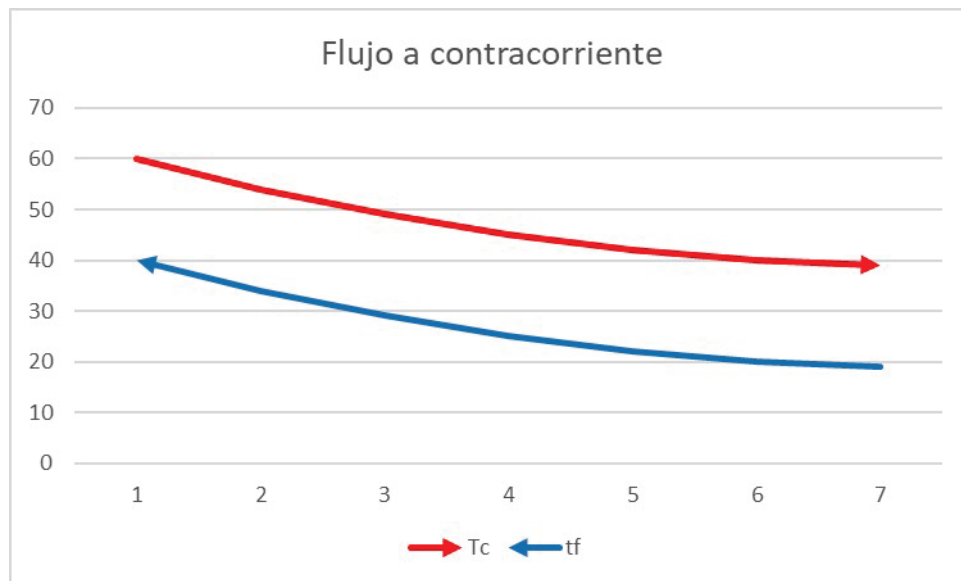


Figura 31 – Gráfico de flujo a contracorriente

4. Forma constructiva de los intercambiadores.

Según la forma constructiva de los intercambiadores de calor se realiza la siguiente clasificación:

a) Intercambiadores de haz tubular o serpentín.

Para que se haga el intercambio de calor entre los fluidos hace falta una gran superficie de contacto, debido a esto para grandes potencias los tubos deben ser de gran longitud. Para conseguir una gran longitud en un espacio reducido los tubos se curvan en forma de serpentín como podemos observar en la figura 32, en dicho serpentín circula el fluido caliente. El serpentín ha de funcionar con el sistema de intercambio a contracorriente para poder optar a temperaturas lo más altas posibles, como se explicó en el punto 3 de este apartado.

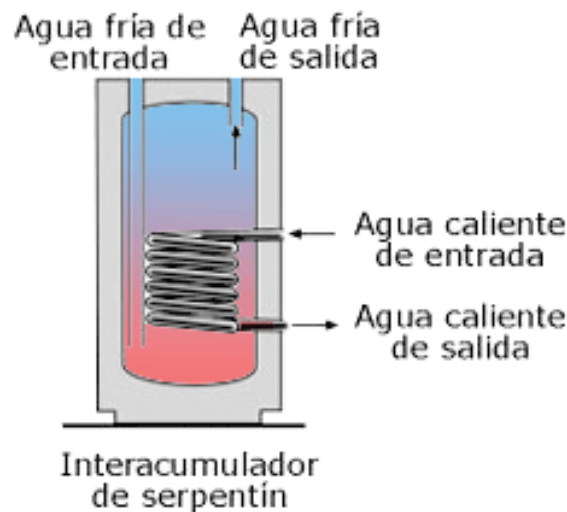


Figura 32 – Intercambiador de serpentín (caloryfrio.com)

Estos intercambiadores están diseñados para instalaciones pequeñas aunque tienen la ventaja de poder colocar varios serpentines para así poder aprovechar diferentes fuentes para calentar el depósito.

b) Intercambiadores de tubos concéntricos.

Este intercambiador está formado, como podemos observar en la figura 33, por dos tubos concéntricos en contacto entre ellos. El tubo central corresponde con el circuito primario y el exterior (envuelve al central) con el circuito secundario, es decir, el central traería el fluido caliente de los captadores y realizaría el intercambio con el secundario que sería el que posteriormente iría al acumulador. Son los intercambiadores más sencillos en cuanto a su construcción. Si queremos optar a temperaturas mayores, igual que en el intercambiador de serpentín, el flujo ha de ser a contracorriente para un mayor intercambio de calor, como se explicó en el punto 3 de este apartado.

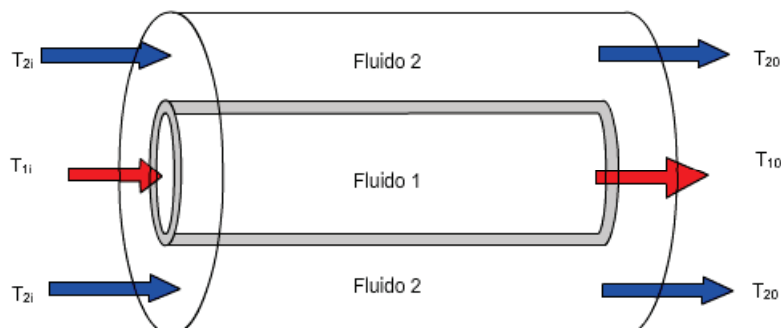


Figura 33 – Intercambiador de tubos concéntricos (emaze.com)

Estos intercambiadores están diseñados para ser utilizados fuera del depósito de

acumulación.

c) Intercambiadores de doble pared.

Los intercambiadores de doble pared (figura 34) están constituidos por dos depósitos diferenciados, uno dentro del otro. Por el depósito interior circula el fluido a calentar, suele tener la pared de forma ondulada para así aumentar la superficie de contacto con el otro fluido. Por el depósito exterior circula el fluido proveniente de las placas solares, caldera, etc.

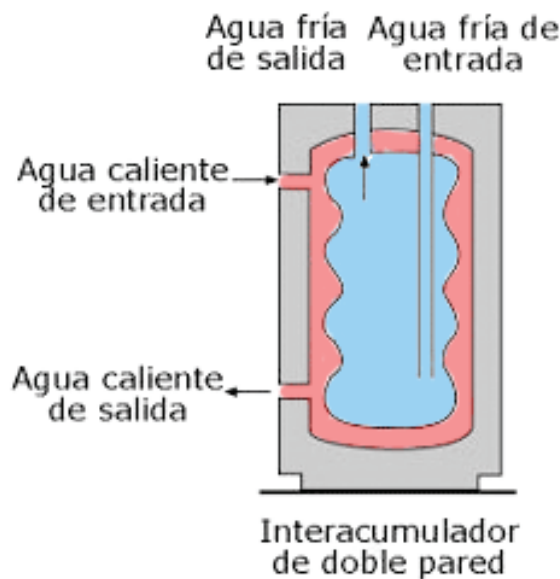


Figura 34 – Intercambiador de doble pared (caloryfrio.com)

El intercambio de calor se realiza mediante el contacto del fluido con las paredes de los respectivos depósitos. Este tipo de intercambiador es el más empleado para los sistemas solares térmicos por termosifón (que se definen en el apartado 7.1.2.1) y está diseñado para formar parte del depósito de acumulación, siendo así un interacumulador.

d) Intercambiadores de placa

Los intercambiadores vistos con anterioridad suelen ser usados, en las instalaciones de energía solar térmica, para potencias relativamente bajas ya que serían demasiado voluminosos en potencias elevadas. Por ello, para dichas potencias elevadas se usan los intercambiadores de placa.

Como podemos ver en la figura 35 el intercambiador está compuesto por varias placas apiladas donde circulan alternativamente los fluidos a contracorriente, realizándose así, el intercambio de calor por ambas caras de cada placa.

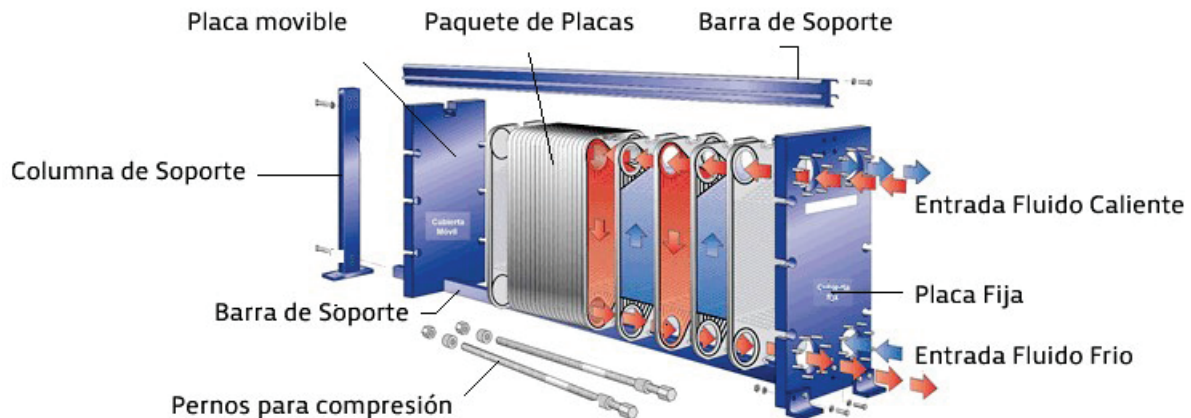


Figura 35 – Intercambiador de placa (saincal.com)

Este tipo de intercambiadores son los más utilizados para instalaciones de gran tamaño, así como para instalaciones que se necesita calentar fluidos en movimiento tales como piscinas.

En la disposición habitual de este tipo de intercambiadores, como vemos en la figura 35, el circuito primario suele tener la entrada en la parte superior y la salida por la inferior del mismo lado y el circuito secundario al revés, es decir, la entrada por la parte inferior y la salida por la parte superior.

Las placas del intercambiador suelen ser de dos tipos: soldadas o desmontables. Las placas desmontables cuentan con la ventaja que en caso de avería se puede cambiar la placa sin tener que cambiar el intercambiador entero como ocurre con las placas soldadas. Un inconveniente de este tipo de intercambiador es que necesita siempre bombas de circulación tanto para el circuito primario como para el secundario. Dichos intercambiadores son utilizados para instalaciones externas, es decir, que poseen el intercambiador fuera del depósito de acumulación.

7.2.4. Depósito

El depósito es uno de los puntos más importantes de la instalación, ya que, al no ser posible captar la energía necesaria al mismo tiempo que la necesitamos para el consumo, es necesario almacenar dicha energía de algún modo para ser consumida cuando sea conveniente.

La manera de almacenar dicha energía es acumulando el agua caliente que se genera cuando la radiación solar así lo permite y, de este modo, poder disponer de ella cuando sea necesario.



Figura 36 – Ejemplo de depósito (inerox.com)

Para almacenar el agua caliente usamos los acumuladores (figura 36). Si los acumuladores poseen el intercambiador dentro del mismo reciben el nombre de interacumuladores como ya se ha mencionado en secciones previas.

A los depósitos, sean del tipo que sean, se les exige una serie de características fundamentales, entre ellas cabe destacar las siguientes (que se consideran las más importantes):

- El depósito debe poseer una buena estratificación (el concepto de estratificación se explicará en el siguiente apartado) del agua en su interior.
- Una vida útil de unos 25 años.
- El depósito usado para ACS debe poseer unos materiales acorde con el higiene sanitario, es decir, tienen que estar fabricado con unos materiales aptos para estar en contacto con el agua de consumo.
- Debe estar diseñado para poder soportar las temperaturas y presiones de trabajo de la instalación.
- Debe poseer un buen rendimiento térmico, es decir, debe tener las mínimas pérdidas posibles en forma de calor. Esto es muy importante ya que influye directamente en el rendimiento global de la instalación.

1. Estratificación de los depósitos

La estratificación de los depósitos es el fenómeno mediante el cual en el agua se forman capas de una manera en la que el agua más fría permanece en el fondo del depósito mientras que el agua más caliente permanece en la parte superior. Este fenómeno se produce debido a que el agua tiene diferentes densidades según su temperatura.

Como podemos observar en la figura 37 la estratificación es un fenómeno muy importante para mejorar la instalación debido, sobre todo, a dos motivos:

- En la parte superior del depósito necesitamos que el agua esté a la mayor temperatura posible ya que es el punto por el cual alimentaremos todas las necesidades de

ACS. Cuánto mayor sea la temperatura en la parte superior, menos necesitaremos la energía de apoyo suministrada por la caldera de gasoil, biomasa, gas, etc.

- En la parte inferior del depósito necesitamos la temperatura más baja posible ya que de la parte inferior del depósito tendremos el agua para hacer el intercambio con el fluido procedente de los captadores. Cuanto más baja sea esta temperatura mayor cantidad de energía aportada por el fluido caloportador, aumentando así el rendimiento de la instalación solar térmica.

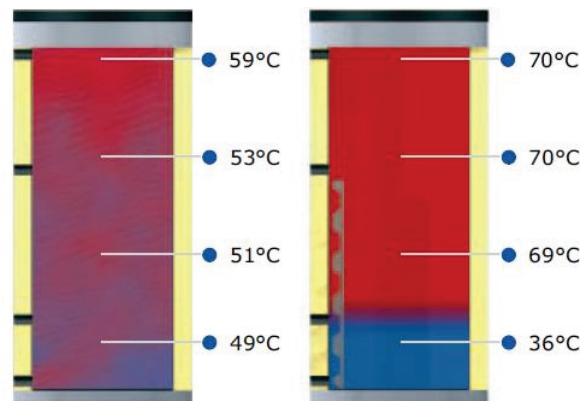


Figura 37 – Diferencia entre depósito sin estratificar y estratificado (solarweb.com)

Debido a que el agua caliente asciende debemos instalar un acumulador lo más estrecho y alto posible, para que la estratificación sea lo mas acentuada posible y conseguir así el mayor rendimiento.

Esta forma constructiva tiene como inconveniente que las pérdidas por calor serán mayores ya que habrá mas superficie de contacto entre el acumulador y el agua. Es preferible una mejor estratificación aunque aumenten sus pérdidas térmicas.

2. Clasificación de los depósitos

Existen diferentes métodos para clasificar los acumuladores, tales como, si incorporan o no el intercambiador o su forma constructiva.

a) Posición del intercambiador

Una de las principales maneras de clasificar los depósitos es según donde tienen el intercambiador de calor, atendiendo a esta particularidad existen fundamentalmente dos tipos de acumuladores:

1) Depósito acumulador

El depósito acumulador (figura 38) es aquel que posee el intercambiador de calor fuera del propio depósito, debido a esto, como podemos observar en la figura 38, el acumulador es un simple depósito vacío. Éstos suelen ser usados para instalaciones relativamente grandes. Los intercambiadores utilizados para este tipo depósito acumulador son, por ejemplo, el intercambiador de placas (figura 35) o el intercambiador de tubos concéntricos (figura 33).



Acumulador sin
serpentín

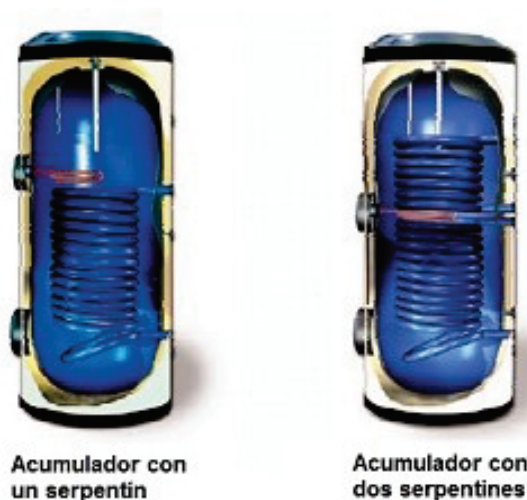
Figura 38 – Acumulador (ingemecanica.com)

2) Depósito interacumulador

El depósito interacumulador es aquel que posee el intercambiador dentro del propio depósito. Dichos depósitos suelen ser utilizados para instalaciones pequeñas, ya que al tener el intercambiador dentro, éste debe ser de pequeño tamaño y de esta manera no posee gran superficie de contacto. Que posea una pequeña superficie de contacto deriva en que sólo pueda ser utilizado en instalaciones de poca potencia. Los intercambiadores utilizados para este tipo de depósito intercambiador son, por ejemplo, el intercambiador de doble pared (figura 34) o el intercambiador de serpentín (figura 32).

El más utilizado es el intercambiador de serpentín (figura 32) ya que se le pueden instalar más de un serpentín, pudiendo así, independizar ciertos circuitos de agua cómo por ejemplo la calefacción.

En la figura 39 podemos observar una comparativa entre el acumulador con un serpentín y el de dos.



Acumulador con
un serpentín

Acumulador con
dos serpentines

Figura 39 – Interacumuladores con 1 y 2 serpentines (ingemecanica.com)

b) Forma constructiva del depósito acumulador

Atendiendo a la forma constructiva del depósito así como a los materiales con los que está fabricado se puede realizar una clasificación:

1) Acumuladores de acero vitrificado

El acero vitrificado posee una especie de esmalte con el que se reviste el interior del acumulador para así protegerlo de la corrosión. La protección no sólo la realiza físicamente si no que también ejerce una protección catódica sobre el mismo al contener materiales anódicos. Una de las ventajas de este tipo de acumulador es que es económico, en cambio, es necesario tener mucho cuidado a la hora de transportarlo ya que no puede sufrir ningún daño, corremos el riesgo de estropear la protección. Otra de las ventajas que posee es que impide muy bien el desarrollo de bacterias y hongos, debido a esto, este acumulador es el más recomendado si el uso es para agua de tipo alimentaria.

2) Acumuladores de acero revestidos de plástico

Este tipo de acumuladores poseen un revestimiento interior de algún tipo de plástico (termoplásticos, caucho, etc.). Son mucho más económicos que los de acero vitrificado pero a largo plazo no son tan resistentes como los anteriores. Éstos están desaconsejados para el uso en acumuladores combinados y los que poseen intercambiador interno debido a que suelen soportar una temperatura máxima de 85°C.

3) Acumuladores de acero inoxidable

Los acumuladores de acero inoxidable son los más resistentes a la corrosión y por ello los más duraderos. Su principal inconveniente es su precio, siendo el más caro de todos.

7.2.5. Circuito secundario

El circuito secundario, también llamado circuito de consumo, es aquel que va desde el acumulador hasta el punto de consumo. En éste se distinguen principalmente en dos partes:

- Uno es el sistema de entrada de agua de la red. A través de él entra el agua fría de la red de abastecimiento al acumulador, para posteriormente ser calentada y distribuida a los puntos de consumo.
- El otro es el sistema que distribuye el agua de consumo a los diferentes puntos, tales como duchas, aseos, lavavajillas, etc. En este punto es donde se situaría el sistema de apoyo (como se puede observar en la figura 40), es decir, el sistema utilizado en caso de que el acumulador no alcanzara la temperatura deseada de 60°C. Estos sistemas suelen ser por ejemplo una caldera de biomasa o de cualquier otro combustible.

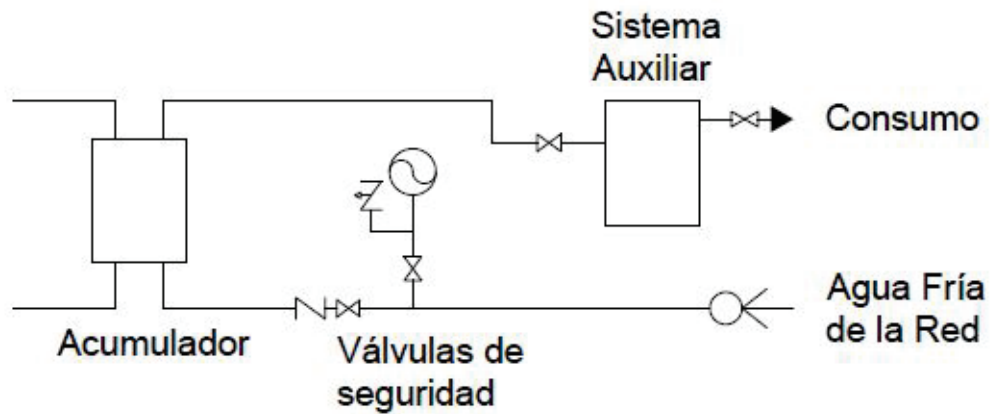


Figura 40 – Esquema del circuito secundario

7.2.6. Bombas

La bomba de circulación es la encargada de hacer circular el fluido refrigerante por el sistema. Ésta deberá tener la potencia suficiente para compensar las pérdidas de carga del circuito y ofrecer a presión adecuada. Es recomendable, siempre que sea posible, que las bombas se monten en tramos rectos y verticales.

Es habitual que existan dos bombas por cada circuito, trabajando cada una de ellas 12 horas al día. Que existan dos bombas supone una ventaja ya que en el caso de que una falle puede trabajar la otra hasta que sea reparada la avería, dejando la instalación completamente operativa siempre.

Existen principalmente dos tipos de bombas de circulación:

■ Bomba de superficie

La bomba de circulación de superficie (figura 41) es la más utilizada en las viviendas. Disponen de una tubería de entrada y otra de salida.



Figura 41 – Bomba de circulación de superficie (Sodimac.com)

■ Bomba sumergible

La bomba de circulación sumergible (figura 42) es la que se utiliza para circular agua de pozos. En el caso de una instalación solar térmica no es utilizada, ya que, no realiza un circuito cerrado.



Figura 42 – Bomba de circulación sumergible (valomix.com)

7.2.7. Vaso de expansión, válvulas y otros accesorios

El circuito hidráulico de la instalación solar térmica debe poseer una serie de dispositivos de seguridad tales como:

1. Vaso de expansión

El vaso de expansión es un sistema de seguridad necesario en circuito en el que el fluido sufra cambios de temperatura en función del tiempo. La variación de temperatura provoca que el fluido cambie su volumen pudiendo provocar roturas en las tuberías. Para evitar dichas roturas se utiliza el vaso de expansión, éste absorberá el aumento de volumen del fluido cuando aumente su temperatura.

Existen fundamentalmente dos tipos de vasos de expansión, los abiertos y los cerrados.

■ Vaso de expansión abierto

Son los empleados en instalación a cielo abierto, en los que la presión del fluido es la misma que la atmosférica.

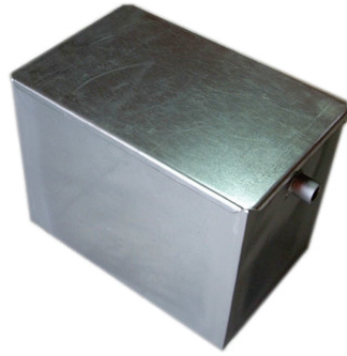


Figura 43 – Ejemplo de vaso de expansión abierto (ferreteriacornellana.com)

El vaso abierto (figura 43) posee una tapa extraíble para poder ser rellenado el fluido. Entre las características principales del vaso abierto cabe destacar:

- El volumen será el suficiente para ser capaz de absorber en su totalidad la expansión del fluido a temperaturas extremas.
- Estará diseñado para soportar las temperaturas de trabajo del fluido.
- La altura a la que debe ser situado el vaso es como mínimo a 2,5 m sobre la máxima altura de la instalación.

Las exigencias mínimas citadas por el CTE en su apartado HE 4 son que la altura en la que se situará será la suficiente para evitar el desbordamiento y si el vaso usa sistema de rellenado se realizara mediante sistemas tipo flotador o parecidos.

■ Vaso de expansión cerrado

Son los vasos de expansión empleados en las instalaciones cerradas, ya que la presión puede ser mayor a la atmosférica. Es un recipiente metálico que por dentro tiene dos partes diferenciadas (figura 44) y separadas generalmente por una membrana de caucho. Una parte contiene el fluido de trabajo que circula por las tuberías y en el otro contiene gas nitrógeno.



Figura 44 – Ejemplo de vaso de expansión cerrado (ingemecanica.com)

Al dilatarse el fluido empuja la membrana que a su vez comprime el gas nitrógeno presente, en cambio al contraerse el fluido la membrana permite volver a expandir el gas. Entre las principales características cabe destacar:

- El volumen posible de dilatación en el vaso de expansión será mayor al 4,3 % del volumen total del fluido de trabajo.
- La tubería de conexión del vaso de expansión con el circuito no debe estar aislada para así favorecer el enfriamiento del fluido de trabajo.

Las exigencias mínimas citadas por el CTE en su apartado HE 4 son que el aislamiento del vaso no dejarán ninguna parte visible, excepto las estrictamente necesarias para el funcionamiento del mismo. Si se prevé que el fluido pueda evaporarse debido al calor hay que sobredimensionar el vaso para que expanda como mínimo el 10 % del volumen total del fluido. Por último, debe estar dimensionado para, en el caso que haya una interrupción de las bombas de circulación y la radiación sea máxima, se pueda restablecer el flujo automáticamente.

2. Válvulas

Las válvulas son elementos que están intercalados en las tuberías con la función de regular e interrumpir el paso del fluido.

Existen diferentes tipos de válvulas según su función dentro de la instalación:

■ Válvulas de paso

Son las encargadas de interrumpir ya sea total o parcialmente el paso del fluido por la tubería (figura 45).



Figura 45 – Ejemplo de válvula de paso (fidemar.com)

Las válvulas de paso se pueden clasificar según su forma constructiva, las principales son:

- **Válvula de esfera.** Interrumpen el paso del fluido mediante un elemento de corte en forma de bola con el mismo diámetro que la tubería. Al cerrar la llave la bola baja cerrando el paso. Esta válvula sólo puede ser accionada manualmente.
- **Válvula de asiento.** Interrumpen el paso mediante un pistón con el mismo diámetro que la tubería. La ventaja de este tipo de válvula es que puede ser accionada tanto manualmente como eléctricamente.

■ Válvulas de seguridad

Las válvulas de seguridad son aquellas que protegen a la instalación. Existen fundamentalmente dos tipos, las limitadoras de presión (figura 46) y las antiretorno.

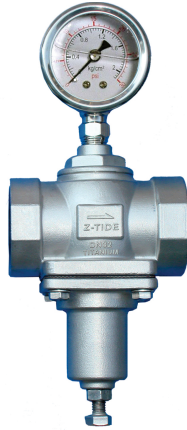


Figura 46 – Ejemplo de válvula de seguridad (veratec.com)

- **Válvula limitadoras de presión.** Este tipo de válvula permite limitar la presión del circuito, por lo que es obligatorio instalarla. Deben ser capaces de limitar la presión para que nunca exceda la presión de trabajo de los elementos presentes en la instalación. En el interior de la misma existe un muelle que cuando hay una sobre presión cede dejando salir parte del fluido, liberando así dicha presión. Es importante para la protección de toda a instalación que la válvula este diseñada a una presión inferior a la del elemento mas sensible de la instalación.
- **Válvula antiretorno.** La función de este tipo de válvula es asegurar de que el fluido circula en una sola dirección. El funcionamiento se basa en que la válvula tiene una chapa con una especie de bisagras que cuando e fluido intenta ir a contra flujo esta no le deja pasar. El CTE en su apartado HE 4 menciona que la instalación deberá evitar pérdidas energéticas debido a flujos inversos, por lo que su instalación es obligatoria en instalaciones de circulación forzada.

3. Otros accesorios

Otros accesorios necesarios en la instalación solar térmica son, por ejemplo los purgadores, los termómetros y los manómetros.

- **Purgadores.** Los purgadores (figura 47) son los elementos encargados de retirar el aire de la instalación. Estos deben ser colocados en el punto mas alto de la instalación, ya que éste, será el que albergue mayor cantidad de aire acumulado.



Figura 47 – Ejemplo de purgador (repuestoscalefaccion.com)

La acumulación de aire en las instalaciones presenta serios problemas tales como disminución de rendimiento, dificultad de circulación del fluido, cavitación de las bombas hidráulicas y posible aparición de ruidos.

En el caso particular de las instalaciones solares térmicas la temperatura del fluido puede ser muy elevada, apareciendo así, posibles efectos de evaporación del fluido, siendo éste retirado de la misma por los purgadores. Debido a estas altas temperaturas es de obligado uso los purgadores metálicos ya que los convencionales no aguantarían la temperatura de trabajo.

El funcionamiento básico de un purgador consiste en que en su interior posee un flotador, cuando la instalación no tiene aire el flotador está arriba y cuando tiene aire el flotador baja abriendo el purgador y dejando salir el aire.

- **Termómetros.** Son elementos utilizados para conocer en tiempo real la temperatura de la instalación. Éstos serán colocados en los puntos estratégicos que deseemos conocer el dato, tales puntos son, por ejemplo el acumulador, el circuito primario, etc.
- **Manómetros.** Son elementos utilizados para conocer la presión en tiempo real. Al igual que los termómetros se situarán en los puntos de interés deseados, éstos pueden ser, por ejemplo, las salidas de las bombas de circulación.

7.2.8. Tuberías

Las tuberías son el sistema de unión entre los diferentes elementos de la instalación.

Según el CTE en su apartado HE4 podrán usarse tuberías de tres materiales distintos, éstos son el cobre, el acero inoxidable y de materiales plásticos.

- **Cobre.** Las tuberías de cobre son ampliamente usadas en las instalaciones ya que ofrecen alta resistencia a la corrosión además de ser fácilmente maleables por lo que facilita mucho su instalación. En contrapartida es un material con un precio elevado, por lo que se están dejando de usar. Este tipo de tuberías sirven tanto para el circuito primario como para el secundario ya que resiste un amplio espectro de temperaturas.

- **Acero inoxidable.** Las tuberías de acero inoxidable son más usadas para grandes caudales de agua, ya que las de cobre de gran diámetro tienen un elevado coste. Son de más difícil fabricación aunque de un precio más bajo, además, tienen el inconveniente que no son maleables. Este tipo de tuberías sirven tanto para el circuito primario como para el secundario ya que resiste un amplio espectro de temperaturas. El tipo de acero que se debe emplear viene reflejado en la norma UNE EN 10088-2.
- **Materiales plásticos.** Las tuberías de materiales plásticos son cada día mas empleadas, debido a que son mucho mas económicas y maleables que las de cobre o acero inoxidable. El principal problema de este tipo de tuberías son las temperaturas de trabajo que no deben superar en la mayoría de los casos de los 100°C. Debido a esta desventaja el CTE no permite su uso en el circuito primario ya que las temperaturas alcanzadas pueden ser mayores. Las más utilizadas, debido a que soportan las temperaturas más altas, son las de XLPE (polietileno reticulado).

En todos los caso expuestos con anterioridad las tuberías tienen que poseer un aislamiento para evitar en la medida posible las pérdidas por calor (generalmente por convección). Se debe recubrir la totalidad de las tuberías dejando solo a la vista los elementos estrictamente necesarios para el funcionamiento de la misma. Cabe destacar que los materiales utilizados deben ser capaces de soportar la temperatura de trabajo de la instalación. Las tuberías expuestas a las inclemencias meteorológicas deben de tener un aislamiento superior a las que circulan por el interior.

7.2.9. Sistema de control

Uno de los puntos fundamentales de toda instalación es el sistema de control, que se encarga de regular los flujos de energía entre los captadores, el acumulador y la zona de consumo. El papel principal del sistema de control es parar o arrancar la instalación según sea necesario.

La manera más habitual de controlar la instalación es mediante las temperaturas. Las válvulas automatizadas cerrarán en el sistema de captación en el momento que el acumulador alcance los 60°C. Para ellos deberemos tener termómetros conectados por toda la instalación. La temperatura en el sistema de captación nunca deberá exceder de un máximo (dependiente del fabricante), ya que, correría riesgo la instalación. En caso de alcanzar dicha temperatura el fluido deberá circular para así rebajarla.

7.2.10. Sistemas auxiliares

Es habitual que la instalación no alcance para suministrar la potencia demandada, es por ello, que se instalarán sistemas auxiliares para ser capaz de satisfacer dicha demanda. Entre los más habituales destacan:

1. Calderas.

Es el sistema auxiliar mas utilizado en la actualidad. Éste se sitúa a la salida del acumulador y actuará en el caso que no se alcance la temperatura de trabajo. La principal diferenciación entre los tipos de caldera existente es el tipo de combustible usado, ya que su principio de funcionamiento es el mismo para todas. Dentro de las calderas las más utilizadas son:

- **Calderas de gasoil.** Son calderas en las que el combustible utilizado es el gasoil (figura 48). Este tipo de calderas están empezando a caer en desuso debido a su alto nivel de contaminación. La caldera se situará a la salida del acumulador y se accionara de manera automática cuando no se alcance la temperatura de trabajo. Este tipo de sistema es el utilizado sobre todo para la calefacción aunque también puede ser usada para ACS.



Figura 48 – Ejemplo de caldera de gasoil (gasfriocalor.com)

Dentro de las ventajas que posee este tipo de caldera destaca tiene una gran seguridad frente a las calderas a gas y poseen un mantenimiento mínimo. Por otra parte sus principales inconvenientes son que se debe poseer un depósito donde almacenar el gasoil así como la gran contaminación que produce, como se ha comentado con anterioridad.

- **Calderas de gas.** Son calderas en las que el combustible utilizado es el gas (figura 49). Tienen el mismo principio de funcionamiento que las calderas de gasoil, aunque en este caso son usadas tanto para calefacción como para ACS.



Figura 49 – Ejemplo de caldera de gas (leroymerlin.es)

Dentro de las ventajas de este tipo de caldera destaca su fácil instalación así como su bajo precio a la hora de la adquisición. Por otra parte sus inconvenientes son la contaminación producida, son mucho menos seguras que las calderas de gasoil o biomasa y debemos poseer un suministro de gas contratado, siendo éste el combustible de mayor precio.

- **Calderas de biomasa.** Son calderas en las que el combustible utilizado es la biomasa (figura 49). Posee el mismo principio de funcionamiento que las calderas anteriores. Este tipo de caldera sólo suele ser usada para calefacción debido a su lento accionamiento.



Figura 50 – Ejemplo de caldera de biomasa (gasfriocalor.com)

Dentro de las ventajas que presenta este tipo de caldera cabe destacar que es la más respetuosa con el medio ambiente, posee el combustible más económico de todas y es el método más seguro de todos. Entre los inconvenientes destaca el difícil acceso al combustible, se debe almacenar el mismo, posee el precio de instalación más alto de todos y tiene un lento accionamiento.

2. Resistencia eléctrica.

Es el sistema auxiliar mas económico a la hora de la instalación, ya que la mayoría de los acumuladores del mercado ya lo poseen integrado. Consiste en una resistencia eléctrica presente en el acumulador que aumenta la temperatura del ACS o calefacción cuando es

necesario. El gran inconveniente de este tipo de sistema auxiliar es que, debido al precio actual de la energía eléctrica, es el más caro de todos, lo cual lo hace el menos atractivo a la hora del diseño de la instalación. Pese a ser con mucha diferencia el más económico a la hora de la compra no compensa su instalación.

7.3. Geotermia

La geotermia es un tipo de aprovechamiento energético en auge, actualmente es una de las mayores desconocidas dentro de las energías renovables aunque con un gran potencial. Ésta ha sido utilizada desde la antigüedad, como por ejemplo en los baños termales, pero es en la actualidad cuando se observan grandes posibilidades de aprovechamiento tanto para la generación de energía eléctrica como para su uso térmico.

La energía geotérmica es básicamente el aprovechamiento de la energía almacenada en forma de calor en el interior de la corteza terrestre. En el caso de este TFG utilizaremos el aprovechamiento de dicha energía para su uso con fines térmicos.

El principio básico de funcionamiento es introducir un fluido en el terreno, para así coger energía en forma de calor y traspasársela a otro fluido. Como podemos observar en la figura 51, a una profundidad de 20 metros la temperatura se estabiliza a 10°C a lo largo del año.

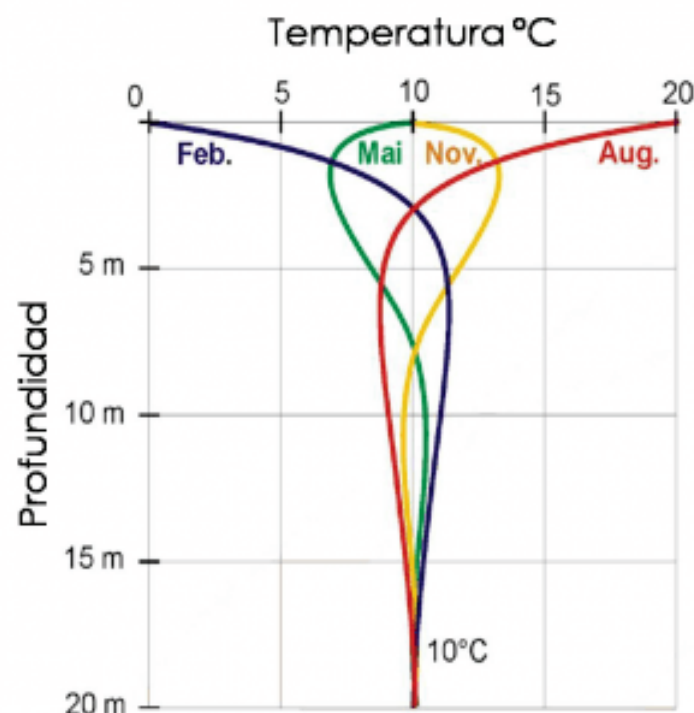


Figura 51 – Diagrama de temperaturas a 20 metros de profundidad (instalacionesyeficienciaenergetica.com)

Esto es una gran ventaja ya que, al contrario de lo que ocurre con otras energías renovables, es constante todo el año. A partir de los 20 metros la temperatura aumenta aproximadamente 3°C cada 100 metros.

En el caso del uso térmico la geotermia no puede ser utilizada como sistema auxiliar debido al gran tiempo de arranque que posee. Es por ello que lo ideal es su uso como energía única.

7.3.1. Bomba de calor

La bomba de calor es el elemento principal de la instalación geotérmica, ya que es la encargada de transmitir el calor cogido del terreno al fluido correspondiente para su posterior aprovechamiento. El principio básico de funcionamiento de la bomba de calor (figura 52) es el de un circuito refrigerante, en el que el evaporador “está” bajo tierra y el condensador cede el calor cogido al fluido de consumo.

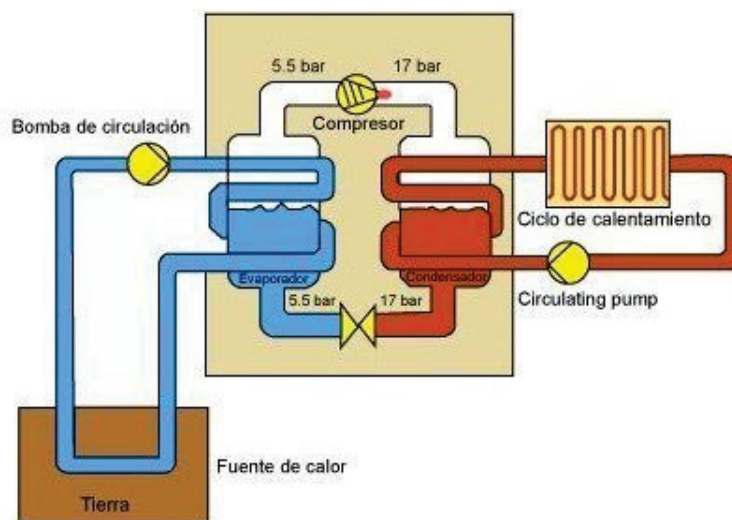


Figura 52 – Esquema de funcionamiento de una bomba de calor (coapinavarra.org)

Las bombas de calor suelen ser reversibles para poder ser usadas en el verano como sistemas de refrigeración. Son utilizadas reversibles en aire acondicionado en el caso de bombas de calor de tipo aire-aire.

Los dos tipos principales de bomba de calor existentes en el mercado son:

- **Bombas de calor del tipo agua-agua.** Son las utilizadas para el aprovechamiento de la energía geotérmica (figura 52), como es el caso objeto de este TFG. La bomba de calor capta mediante un fluido caloportador energía en forma de calor del terreno y la cede a otro fluido para su posterior aprovechamiento. Este tipo de bombas puede ser reversible, es decir ceder energía al terreno y captarla del interior de la vivienda. El uso de un circuito radiante como refrigeración puede causar problemas de salud al estar el suelo frío y no suele ser recomendable su uso.
- **Bombas de calor del tipo aire-aire.** Son las utilizadas en muchas viviendas como fuente de calor para el verano y de refrigeración para verano. El principio de funcionamiento es el mismo, pero en caso del invierno en vez de captar calor del terreno lo capta del aire exterior y lo cede para el interior de la vivienda y viceversa en invierno. Es el tipo de

bomba de calor reversible más utilizado en la actualidad, ya que sólo con una instalación optamos a calefacción y a aire acondicionado.

En la figura 52 podemos observar las dos utilidades de la bomba de calor aire-aire reversible.

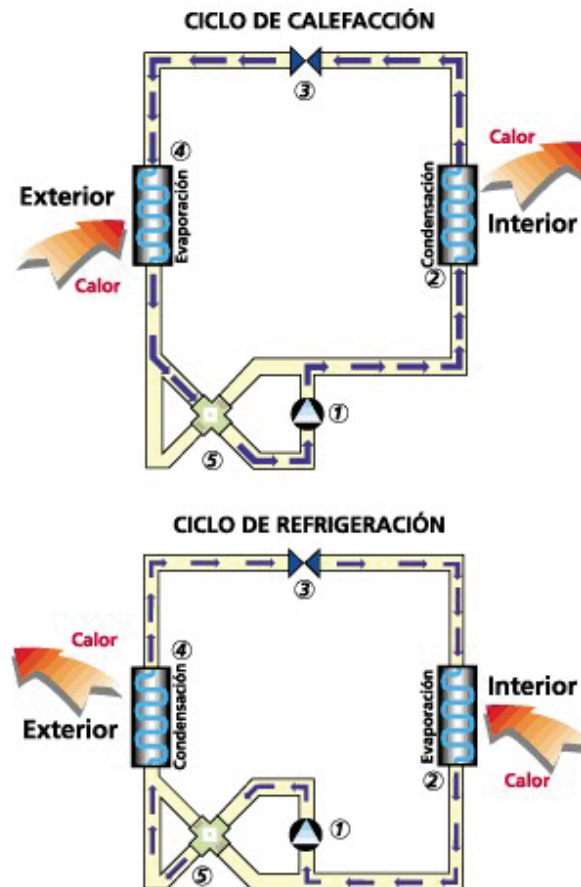


Figura 53 – Esquema de funcionamiento de una bomba de calor tipo aire-aire en verano e invierno (i-ambiente.es)

La bomba de calor posee un rendimiento muy alto, este rendimiento es conocido como COP (coeficiente de eficiencia energética en modo calefacción), este rendimiento da la relación entre la potencia consumida y la potencia calorífica generada. Es decir, por ejemplo si la bomba posee un COP de 4 significa que es capaz de generar 4kW de potencia calorífica por cada 1kW de potencia eléctrica consumida.

7.3.2. Tipos de energía geotérmica

Las energía geotérmica se puede clasificar de diferentes maneras, según la temperatura del terreno y el tipo de sondeo realizado.

7.3.2.1. Clasificación según temperatura del terreno

La temperatura de trabajo variará en función de la profundidad que alcancemos en la perforación. Dependiendo de la temperatura alcanzada por el fluido de trabajo se destinará para diferentes usos. Atendiendo a esta clasificación podemos observar en la tabla 1 los diferentes usos de la energía geotérmica.

		Rango de temperaturas del terreno	Utilización
Muy baja entalpía	Subsuelo	$5 < T < 25$	Calefacción, ACS y Climatización
	Aguas subterráneas	$10 < T < 224$	
Baja entalpía	Aguas termales	$22 < T < 50$	Balnearios y Acuicultura
	Zonas volcánicas	$T < 100$	Distric heating
	Almacenes sedimentarios profundos		
Media entalpía		$100 < T < 150$	Generación eléctrica
Alta entalpía		$T > 150$	Generación eléctrica

Tabla 1 – Utilizaciones Geotermia según temperatura

El Distric heating es un sistema de distribución de ACS y calefacción para muchos edificios a partir de una planta de generación central.

El caso que está dentro de los parámetros de este TFG es el de muy baja entalpía con subsuelo.

7.3.2.2. Tipos de instalaciones geotérmicas con bomba de calor

Los principales tipos de instalaciones geotérmicas son:

1. Sistemas abiertos

Los sistemas abiertos se distinguen por usar como fluido caloportador la propia agua subterránea. Esta agua se puede usar de forma directa o a través de una bomba de calor. Uno de los factores más importantes que posee este sistema es que hay que realizar previamente un estudio de las aguas subterráneas de la zona, y que éstas tengan la temperatura deseada. Dependiendo de la temperatura del agua subterránea se podrán hacer instalaciones de mayor o menor potencia. Este tipo de instalaciones son utilizadas para grandes potencias (entorno a los 150kW), ya que su alto coste, tanto de estudio como de ejecución, la hace inviable económicamente para potencias reducidas.

Dentro de los inconvenientes cabe destacar que la instalación debe poseer como mínimo dos pozos, uno de extracción de agua y otro de retorno. Además de tener que garantizar la calidad del agua para el consumo humano.

Las ventajas son que se puede obtener una gran potencia y recoger el agua de consumo directamente.

2. Sistemas cerrados

Los sistemas cerrados son aquellos en los que llevamos, a través de las sondas, un fluido caloportador y éste recoge calor del suelo para poder ser aprovechado con posterioridad. Dentro de los sistemas cerrados caben destacar dos, el sistema vertical y el horizontal.

- El sistema cerrado vertical es el que está más extendido. Consiste en una o varias perforaciones que cuentan con dos tubos unidos en su parte inferior en forma de “U” enterrados de manera vertical a una profundidad máxima de unos 100 metros. Por uno de los tubos, como puede observarse en la figura 54, se introduce el fluido frío que sale de la bomba de calor y por el otro retorna a mayor temperatura. La particularidad de que estén enterrados a esa profundidad implica que no sufra variaciones de temperatura provocados por agentes externos. En caso de existir varios pozos hay que dejar una distancia horizontal entre ellos suficiente para que no bajen el rendimiento. La distancia no está tabulada, así que dependerá del tipo de terreno y de la experiencia del instalador.

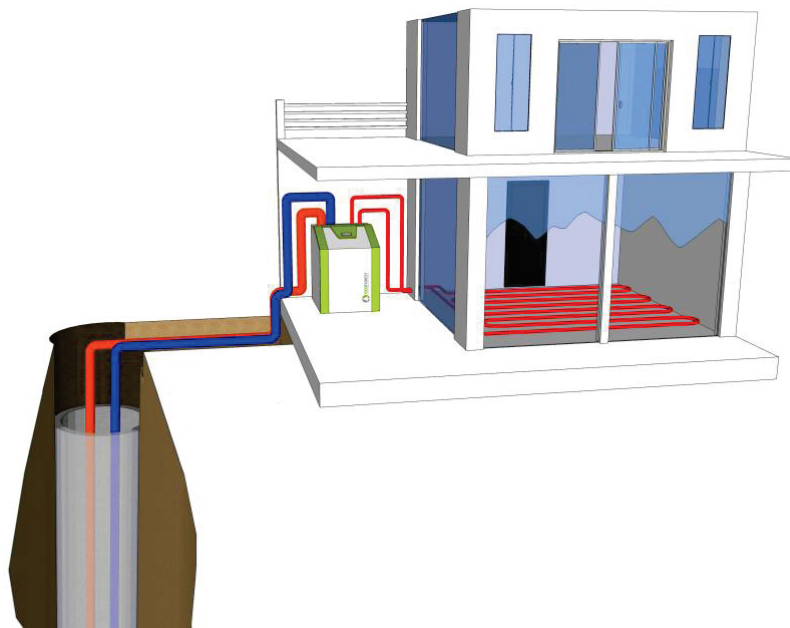


Figura 54 – Sistema geotérmico con sonda vertical (geoterma4.es)

Dentro de las ventajas que posee este tipo de captación cabe destacar que tiene un mayor rendimiento que la horizontal, ya que no sufre inclemencias meteorológicas, y tiene un mantenimiento casi nulo, ya que si se realiza bien tiene una vida útil de entorno a unos 50 años.

El principal inconveniente es su elevado coste de ejecución, ya que la perforación vertical tiene gran dificultad a la hora de realizarse.

- El sistema cerrado horizontal tiene el mismo principio de funcionamiento que el vertical. En vez de disponer las sondas hacia el interior del terreno se disponen en a modo de red a una profundidad entre los 10 y 20 metros. Esta profundidad es

debida a que es donde se empieza a estabilizar la temperatura del terreno.

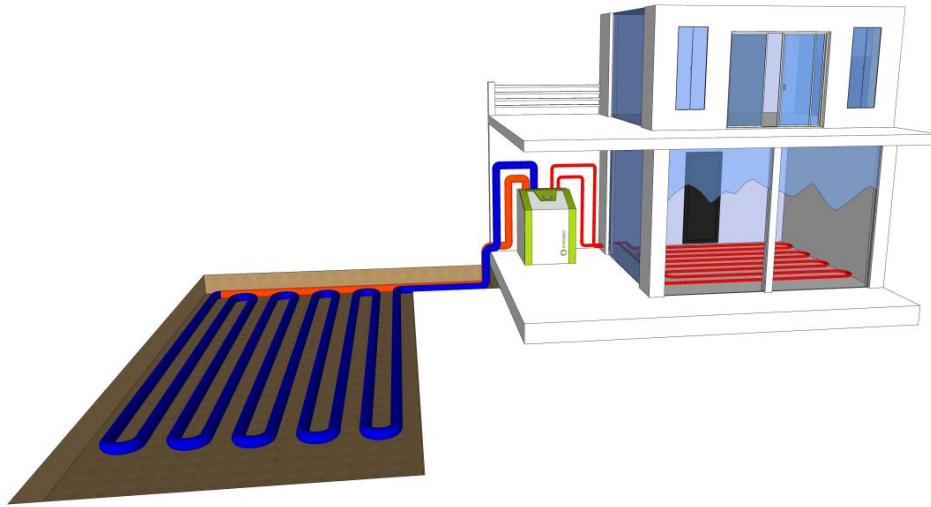


Figura 55 – Sistema geotérmico con sonda horizontal (geotermiag4.es)

Dentro de las ventajas de este tipo de instalación cabe destacar que posee mucha menor especialización técnica que el vertical y, por ende, mucho más económico.

Entre los inconvenientes cabe destacar que tiene un rendimiento mucho menor, ya que la temperatura del terreno puede sufrir modificaciones debido al clima, además la temperatura a esta profundidad es menor por lo que se necesitarán más metros de tubería (superficie de intercambio). Por otro lado se debe poseer terreno propio para realizar la instalación ya que ocupará mucho espacio.

8 Resultados finales

En este apartado se definirá el procedimiento a seguir en el TFG así como las conclusiones extraídas del mismo.

8.1. Procedimiento de cálculo

En este apartado figurará el procedimiento que se ha seguido en los cálculos así como las fórmulas necesarias para el mismo. Los cálculos numéricos estarán presentes en el anexo de cálculo correspondiente.

Los pasos a seguir en el cálculo de la instalación solar térmica y geotermia son los siguientes:

1. Cálculo de la temperatura del agua de la red
2. Cálculo de las necesidades de ACS
3. Cálculo de las necesidades de calefacción
4. Cálculo de las pérdidas en la instalación
5. Aplicación del método Fchart
6. Cálculo de la instalación geotérmica

Una vez establecidos los pasos a seguir procedemos a mostrar el procedimiento utilizado en el TFG.

8.1.1. Cálculo de la temperatura del agua de la red

No existen datos de la temperatura de la red de agua pública para localidades que no sean capital de provincia, para ello se utiliza la ecuación 1 que relaciona la temperatura media del agua de la capital con la diferencia de altura existente entre ambas localidades.

La diferencia de altura en metros entre la capital de provincia (A Coruña) y nuestra localidad objetivo (Cee), que está reflejada en la tabla 2, fué obtenida del mapa topográfico de Galicia.

Lugar	Altura
Cee	6
A Coruña	29
Δz	-23

Tabla 2 – Diferencia de altura entre Cee y A Coruña

$$T_{afy} = \Delta z - B * T_{afcp} \quad (1)$$

Siendo:

T_{afy} : Temperatura del agua de la localidad que queremos obtener.

δz : Diferencia de altura entre la localidad y la capital de provincia (m).

B : Constante que será según el DB HE4 de 0,0066 para los meses de octubre a marzo y de 0,0033 para los meses de abril a septiembre.

T_{afcp} : temperatura del agua de red de la capital de provincia.

Mediante dicha ecuación se obtendrá a temperatura media del agua de la red de Cee. Ésta se necesitará para el cálculo de la energía necesaria para ACS.

8.1.2. Cálculo de las necesidades de ACS

La demanda de energía mensual es la cantidad de energía necesaria para aumentar la temperatura del agua hasta los 60°C estipulados por el CTE (Código Técnico de la Edificación). Dicha temperatura es para evitar la aparición de legionela al estar el agua estancada. Esta

energía se calcula primero de forma ideal, sin pérdidas, y posteriormente se le aplican todas las pérdidas para hacer un cálculo real de la energía necesaria.

El primer paso para lograr el cálculo de la energía necesaria es conocer las necesidades de consumo de una vivienda. Para ello obtenemos de la tabla 3, extraída del DB HE4, la demanda de ACS para una vivienda unifamiliar. Como se puede observar dicha demanda es de 28 litros al día por persona.

Criterio de demanda	Litros/día.unidad	unidad
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centro de salud	41	Por persona
Hotel *****	69	Por persona
Hotel ****	55	Por persona
Hotel ***	41	Por persona
Hotel/hostal **	34	Por persona
Camping	21	Por persona
Hostal/pensión *	28	Por persona
Residencia	41	Por persona
Centro penitenciario	28	Por persona
Albergue	24	Por persona
Vestuarios/Duchas colectivas	21	Por persona
Escuela sin ducha	4	Por persona
Escuela con ducha	21	Por persona
Cuarteles	28	Por persona
Fábricas y talleres	21	Por persona
Oficinas	2	Por persona
Gimnasios	21	Por persona
Restaurantes	8	Por persona
Cafeterías	1	Por persona

Tabla 3 – Demanda de referencia a 60°C

En el caso particular de la vivienda unifamiliar objeto de este TFG la demanda de ACS será como muestra la tabla 4 de 140 l/día ya que habitan 5 personas.

l/persona día	28
Nº personas	5
Consumo total día	140

Tabla 4 – Consumo diario ACS

Una vez obtenida la demanda de agua se procede a calcular la energía necesaria para elevar la temperatura del agua de la red hasta los 60°C pertinentes. Para ello emplearemos la

ecuación 2 que nos relaciona todas las variables necesarias.

$$Q_a = C_e * V * N * (T_{ac} - T_t) \quad (2)$$

Siendo:

Q_a : Energía necesaria mensual.

C_e : Calor específico del agua.

V : litros de agua.

N : Número de días que tiene el mes.

T_{ac} : Temperatura especificada por el CTE que tiene que alcanzar el agua.

T_t : Temperatura del agua de la red.

Los cálculos expuestos con anterioridad son para aumentar la temperatura del agua de red hasta los 60°C, ya que nuestra instalación se va a dimensionar para que mantenga el depósito a esa temperatura. De esta manera la instalación será más pequeña y más económica.

Para alcanzar la temperatura inicial de 60°C se usará una resistencia eléctrica y después para mantenerla se utilizará la instalación solar térmica, aún así también se dispondrá de una caldera ya que solamente la instalación térmica no proporcionará el 100 % de la energía necesaria, como se verá en los siguientes apartados.

La generación de aire acondicionado a través de paneles solares es posible gracias a la máquina de absorción. En el presente TFG no será posible la instalación de una máquina de absorción debido a la escasa potencia de la vivienda, ya que el sistema de absorción es válido a partir de unos 70 kW de potencia.

Una vez obtenida la energía necesaria para ACS (se muestra en el anexo cálculos) se procede al cálculo de la energía necesaria de calefacción.

8.1.3. Cálculo de las necesidades de calefacción

La energía necesaria para la calefacción es uno de los consumos más grandes e importantes de agua caliente en una casa. El cálculo se va a realizar por cada una de las estancias que va a necesitar calefacción. Se realizará una comparativa de dos tipos de calefacciones, la de tipo radiador y la de tipo suelo radiante, para averiguar cual de las dos tiene un menor consumo de recursos.

Para ello se necesita el área de cada estancia de la casa reflejadas en la tabla 5.

Estancias	Área (m^2)
Habitación principal	24,9
Habitación 1	15,6
Habitación 2	16,4
Habitación 3	16
Cuarto de baño 1	17,4
Cuarto de baño 2	17,4
Cocina	16
Salón-comedor	34,8
Despacho	19,6
Pasillo 1	13,6
Pasillo 2	13,6

Tabla 5 – Área de las estancias de la casa

Una vez poseemos las áreas de las estancias, se procede al cálculo de la potencia que debe suministrar cada una de las calefacciones para satisfacer las necesidades.

Para realizar el cálculo se empleará una fórmula experimental que relaciona diferentes parámetros que influyen directamente en la potencia necesaria.

Éstos parámetros son:

1. Espacio a calentar

Un dato fundamental es el espacio necesario a calentar, será expresado en metros cuadrados y está reflejado en la tabla 5.

2. Orientación de la vivienda

La orientación de la vivienda es necesaria tenerla en cuenta ya que influye directamente en la radiación solar recibida por la vivienda. Una vivienda con orientación sur recibe mucha más radiación solar que una con orientación norte, debido a esto, a la que posee orientación sur le hará falta menos potencia para calentarse.

Dependiendo de la orientación le aplicaremos una constante diferente, siendo éstas las reflejadas en la tabla 6:

Orientación	Constante
Norte	1,12
Sur	0,92
Este	1
Oeste	1

Tabla 6 – Constantes según orientación de la vivienda

La vivienda objeto de este TFG se supondrá que posee orientación sur, ya que es la situación más favorable.

3. Aislamiento de la vivienda

El aislamiento que posee la vivienda es uno de los parámetros más importantes e influyentes en la calefacción, ya que un mal aislamiento provocará que el calor no se aguante dentro de la estancia y, por ende, se gastará una mayor energía para mantener la misma temperatura interior.

Dependiendo del tipo de aislamiento usado se tienen tres constantes diferentes a usar, presentes todas ellas en la tabla 7.

Tipo de aislamiento	Constante
Aislamiento complejo	0,93
Aislamiento simple	1
Sin aislamiento	1,1

Tabla 7 – Constantes según tipo de aislamiento de la vivienda

El aislamiento complejo corresponde a ventanales dobles y pared con cámara de aire, el aislamiento simple a ventanales dobles y pared sin cámara de aire o a ventanal simple y pared con cámara de aire, y sin aislamiento corresponde a ventanal simple y pared sin cámara de aire.

Al suponerse una vivienda de nueva construcción está poseerá aislamiento complejo.

4. Zona climática

Dependiendo de la zona climática donde esté situada la vivienda se aplicará un factor de corrección diferente. Las diferentes zonas climáticas vienen reflejadas en el Código Técnico de la Edificación (CTE), más concretamente en el DB HE 1, Apéndice B. Estas zonas se dividen en función de las temperaturas medias presentes en cada zona. Las diferentes zonas climáticas vienen reflejadas en la figura 56.

Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1	D3	D2	D1	E1
Albacete	D3	677										h < 450			h < 950			h ≥ 950
Alicante/Alacant	B4	7					h < 250					h < 700			h ≥ 700			
Almería	A4	0	h < 100				h < 250	h < 400				h < 800			h ≥ 800			
Ávila	E1	1054														h < 550	h < 850	h ≥ 850
Badajoz	C4	168									h < 400	h < 450			h ≥ 450			
Barcelona	C2	1											h < 250			h < 450	h < 750	h ≥ 750
Bilbao/Bilbo	C1	214												h < 250			h ≥ 250	
Burgos	E1	861															h < 600	h ≥ 600
Caceres	C4	385									h < 900				h < 1050			h ≥ 1050
Cádiz	A3	0	h < 150					h < 450				h < 600	h < 850			h ≥ 850		
Castellón/Castelló	B3	18						h < 50				h < 500			h < 600	h < 1000		h ≥ 1000
Ceuta	B3	0						h < 50										
Ciudad Real	D3	630									h < 450	h < 500			h ≥ 500			
Córdoba	B4	113					h < 150				h < 550				h ≥ 550			
Coruña, La/ A Coruña	C1	0												h < 200			h ≥ 200	
Cuenca	D2	975													h < 800	h < 1050		h ≥ 1050
Gerona/Girona	D2	143												h < 100		h < 600		h ≥ 600
Granada	C3	754	h < 50				h < 350				h < 600	h < 800			h < 1300			h ≥ 1300
Guadalajara	D3	708													h < 950	h < 1000		h ≥ 1000
Huelva	A4	50	h < 50				h < 150	h < 350				h < 800			h ≥ 800			
Huesca	D2	432										h < 200			h < 400	h < 700		h ≥ 700
Jáén	C4	436					h < 350				h < 750				h < 1250			h ≥ 1250
León	E1	346																h < 1250
Lérida/Lleida	D3	131										h < 100			h < 600			h ≥ 600
Logroño	D2	379											h < 200			h < 700		h ≥ 700
Lugo	D1	412															h < 500	h ≥ 500
Madrid	D3	589										h < 500			h < 950	h < 1000		h ≥ 1000
Málaga	A3	0						h < 300				h < 700			h ≥ 700			
Melilla	A3	130																
Murcia	B3	25						h < 100				h < 550			h ≥ 550			
Orense/Ourense	D2	327										h < 150	h < 300		h < 800			h ≥ 800
Oviedo	D1	214												h < 50			h < 550	h ≥ 550
Palencia	D1	722															h < 800	h ≥ 800
Palma de Mallorca	B3	1					h < 250					h ≥ 250						
Pamplona/Iruña	D1	456											h < 100			h < 300	h < 600	h ≥ 600
Pontevedra	C1	77												h < 350			h ≥ 350	
Salamanca	D2	770														h < 800		h ≥ 800
San Sebastián/Donostia	D1	5															h < 400	h ≥ 400
Santander	C1	1												h < 150			h < 650	h ≥ 650
Segovia	D2	1013														h < 1000		h ≥ 1000
Sevilla	B4	9					h < 200				h ≥ 200							
Soria	E1	984														h < 750	h < 800	h ≥ 800
Tarragona	B3	1						h < 50				h < 500			h ≥ 500			
Tenue	D2	995										h < 450	h < 500			h < 1000		h ≥ 1000
Toledo	C4	445									h < 500				h ≥ 500			
Valencia/València	B3	8						h < 50				h < 500				h < 950		h ≥ 950
Valladolid	D2	704														h < 800		h ≥ 800
Vitoria/Gasteiz	D1	512															h < 500	h ≥ 500
Zamora	D2	617														h < 800		h ≥ 800
Zaragoza	D3	207										h < 200			h < 650			h ≥ 650

Figura 56 – Zonas climáticas de la Península Ibérica

En la figura 56 se observa la zona climática de cada capital de provincia y dependiendo de la variación de altura con respecto a la misma obtenemos a que zona climática pertenece nuestra localización. En nuestro caso como se puede observar en la tabla 2 la altura de Cée con respecto a la capital (A Coruña) varía en 23 metros. Como la diferencia de altura es menor a 200 metros, Cée pertenece a la zona climática C.

Se pueden observar de una manera más gráfica las zonas climáticas en la figura 57.



Figura 57 – Mapa de Zonas climáticas de la Península Ibérica

Dependiendo de la zona climática a la que pertenezca la localización de la vivienda aplicaremos una constante, estando éstas reflejadas en la tabla 8.

Zona climática	Constante
Zona A	0,88
Zona B	0,95
Zona C	1,04
Zona D	1,12
Zona E	1,19

Tabla 8 – Constantes según zona climática

Una vez establecidos todos los parámetros necesarios se procede a calcular la potencia necesaria para cada estancia de la vivienda.

Para ello aplicaremos la ecuación 3.

$$Potencia\ necesaria = A * B * C * D * 85 \quad (3)$$

Siendo:

A: Área de la estancia a calentar.

B: Orientación de la vivienda.

C: Tipo y calidad del aislamiento presente.

D: Zona climática donde está situada la vivienda.

En la vivienda objeto de este TFG los parámetros usados para los cálculos son los siguientes:

- **Orientación de la vivienda:** La orientación utilizada en la vivienda es la sur, ya que, es la recomendada por el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) como la óptima.
- **Aislamiento de la vivienda:** El tipo de aislamiento presente en la vivienda es el aislamiento complejo.
- **Zona climática de la vivienda:** La zona climática que afecta a la vivienda es la zona C.

Las potencias necesarias por estancia vienen reflejadas en la tabla 22.

Una vez obtenida la potencia necesaria se procede al cálculo de la cantidad de agua caliente necesaria para satisfacer dicha necesidad. como se ha dicho con anterioridad se realizan los cálculos para dos tipos de calefacciones, para así poder saber cuál es la más eficiente de las dos. Las dos utilizadas son la calefacción por radiadores y la calefacción por suelo radiante.

8.1.3.1. Calefacción tipo radiador

Para el cálculo de la energía necesaria para calefacción tipo radiador, debemos conocer cuántos elementos nos hacen falta para satisfacer la potencia demandada en la tabla 22. Para ello, utilizaremos la fórmula 4.

$$\text{Numero de elementos} = \frac{\text{Potencia demandada}}{\text{Potencia elemento}} \quad (4)$$

Siendo:

Número de elementos: El número de elementos necesarios para satisfacer la potencia demandada.

Potencia demandada: Potencia necesaria para calefactar cada estancia.

Potencia elemento: Potencia ofrecida por cada elementos del radiador.

En la vivienda objeto de este proyecto supondremos radiadores de aluminio Xian 600 de la casa Ferroli. La potencia ofrecida por cada elemento es de 156,2 W con el caudal circulando a 60 grados centígrados. El número de elementos ha de ser redondeado al alza, para así, asegurarnos de cubrir las necesidades en su totalidad. Mediante la ecuación 4 obtenemos el número de elementos necesarios reflejados en la tabla 23. El límite de elementos para un radiador recomendado es de 12. Por ello dividimos en dos radiadores los que pasen de 12 y recálculamos la potencia ofrecida por los mismos. La potencia real emitida por los radiadores viene reflejada en la tabla 24.

Una vez obtenida la potencia real emitida por cada radiador debemos calcular el caudal necesario que ha de circular por los radiadores para poder dar dicha potencia. La temperatura que circulará por los radiadores irá a 60°C, y la de retorno a 45°C. la temperatura de retorno viene dada porque es la más utilizada y, en base a ella, calcularemos el caudal necesario. Para la realización de los cálculos necesitaremos la entalpía del agua tanto a 60°C como a 45°C.

Éstos datos serán extraídos del programa de cálculo EES (Engineering Equation Solver). Para el cálculo del caudal necesario aplicaremos la ecuación 5.

$$Q = \frac{P_t/1000}{h_e - h_s} * 3600 \quad (5)$$

Siendo:

Q : Caudal necesario en l/h .

P_t : Potencia entregada por los radiadores en W .

h_e : Entalpía del agua de entrada a $60^\circ C$.

h_s : Entalpía del agua de salida a $45^\circ C$.

Los resultados del caudal necesario para cada estancia vienen reflejados en la tabla 25. El caudal dado en la tabla 25 viene dado en l/h por lo que para saber el número de litros consumidos exactamente debemos utilizar la ecuación 6.

$$l = Q * h \quad (6)$$

Siendo:

l : Litros utilizados.

Q : Caudal utilizado.

h : Número de hora diarias de uso previsto de la calefacción.

El tiempo de uso de la calefacción es completamente aleatorio, es decir, depende de cada vivienda el tiempo que permanecerá encendida. Es por ello, que se ha estimado que la calefacción de la vivienda objeto de este TFG será utilizada una media de 5 horas diarias. Utilizando la ecuación anterior obtenemos los litros diarios necesarios siendo estos reflejados en la tabla 26. En la tabla 26 vienen reflejados los datos por radiador, necesitamos sumarlos para obtener el número total de litros que se necesitan de manera diaria en toda la instalación. Mediante el sumatorio de los litros de cada radiador obtenemos que nos hacen falta 4656,15 $l/día$. Mediante la ecuación 7 obtenemos la energía necesaria para mantener los 4656,15 $l/día$ a $60^\circ C$.

$$Q_a = C_e * C * N * (T_e - T_s) \quad (7)$$

Siendo:

Q_a : Energía de calefacción necesaria mensual.

C_e : Calor específico del agua.

C : Litros de agua necesarios al día.

N : Número de días que tiene el mes.

T_e : Temperatura del agua a la entrada del radiador, en este caso 60°C.

T_s : Temperatura del agua a la salida del radiador, en este caso 45°C.

No existe ninguna norma que diga que meses tiene que estar encendida la calefacción. Es por ello que en la vivienda objeto de este TFG se supondrá el uso de la misma en los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo. Teniendo en cuenta los meses citados, la energía necesaria para los mismos está reflejada en la tabla 7.

8.1.3.2. Calefacción tipo suelo radiante

Una vez obtenida la energía necesaria para la calefacción tipo radiador se procede a hacer el cálculo de la energía para el tipo suelo radiante.

Para la realización del cálculo de la calefacción de suelo radiante debemos saber que caudal circulará por el sistema de tuberías. Para ello se utilizará la ecuación 8:

$$M = \frac{A * q}{\Delta_{t(ida-ret)} * C_e} * \left(1 + \frac{R_o}{R_u} + \frac{t_i - t_u}{q * R_u} \right) \quad (8)$$

Siendo:

A : El área de la estancia a calentar en m^2 .

q : La potencia necesaria a emitir por la calefacción en W/m^2 .

$\Delta_{t(ida-ret)}$: La diferencia térmica entre el fluido de salida de la caldera con respecto al de retorno en grados centígrados.

C_e : Calor específico del fluido en $J/(kg * K)$.

R_o : Resistividad térmica del suelo en $m^2 * K/W$.

R_u : Resistividad térmica del techo en $m^2 * K/W$.

t_i : Temperatura ambiente que se desea en la estancia en grados centígrados.

t_u : Temperatura bajo la estancia a calefactar en grados centígrados.

A continuación se expresa el valor de ciertos parámetros y el motivo de la elección:

- El valor de R_o es de 0,0597 y viene dado por ser la composición del suelo de gres y mortero de cemento.
- El valor de R_u es de 1,72 y viene dado por ser la composición del techo de placa aislante, mortero de cemento de nivelación, bovedilla de hormigón y enlucido de yeso.
- El valor de la temperatura t_u está extraído del histórico de temperaturas de la estación meteorológica de Zas (A Coruña). Obtenemos los datos de temperaturas desde el 01/01/2017 al 31/12/2017 en la página de Meteogalicia y se realiza la media aritmética de todos ellos, dando como resultado la temperatura del suelo t_u .

Los tipos de suelo y techo han sido escogidos atendiendo a que son los más utilizados en el caso de una vivienda unifamiliar. Los resultados de los caudales necesarios para calefactar las diferentes estancias vienen reflejados en la tabla 28.

El caudal M viene dado en l/s por lo que hay que hacerle el cambio de unidades a l/h gracias a la ecuación 9. El dato que se necesita son los litros que consume la calefacción, para ello suponemos las misma horas de utilización que la calefacción de tipo radiador para evaluar con exactitud cual es más eficiente. En este caso, el tiempo de uso de la calefacción es de 5 horas al día.

$$l = M * h * 3600 \quad (9)$$

Siendo:

l : Litros utilizados por la calefacción tipo radiante.

M : Caudal necesario para aportar la demanda de energía.

h : Horas diarias de utilización de la calefacción.

Mediante la utilización de la ecuación 9 obtenemos los litros necesarios reflejados en la tabla 29. Una vez obtenidos los litros necesarios para la calefacción radiante se calcula la energía necesaria para hacer el aporte energético necesario mediante la ecuación 10.

$$Q_a = C_e * V * N * (T_e - T_s) \quad (10)$$

Siendo:

Q_a : Energía de calefacción necesaria mensual.

C_e : Calor específico del agua.

V : Litros de agua necesarios al día.

N : Número de días que tiene el mes.

T_e : Temperatura del agua a la entrada del radiador, en este caso 35°C.

T_s : Temperatura del agua a la salida del radiador, en este caso 40°C.

No hay constancia, al igual que para los radiadores, de una norma que diga que meses debe estar encendida la calefacción, por lo que en este TFG se supondrá su uso en los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo. La energía a aportar para la calefacción por suelo radiante viene reflejada en la tabla 30. Como se puede observar en la tabla 9 la calefacción por suelo radiante necesita un menor aporte de energía que la de tipo radiador, por lo que el cálculo de los captadores se realizará mediante los consumos de calefacción de suelo radiante.

Mes	Qa radiante	Qa radiadores
Enero	2308,29	2518,14
Febrero	2084,91	2274,45
Marzo	2308,29	2518,14
Noviembre	2233,83	2436,91
Diciembre	2308,29	2518,14

Tabla 9 – Comparativa de consumos entre calefacción por radiadores y por suelo radiante

Una vez elegida la calefacción que se va a utilizar, se debe sumar ambos gastos energéticos, el de ACS y el de calefacción, para así proceder al cálculo de la instalación necesaria. La energía necesaria viene reflejada en la tabla 31 del anexo de cálculo.

8.1.4. Cálculo de las pérdidas de la instalación

La energía mostrada en la tabla 31 del anexo de cálculo es la energía necesaria de manera ideal, es decir, sin tomar en cuenta las pérdidas. Para poder obtener de manera más aproximada la energía necesaria a la salida de los paneles térmicos tenemos que tener en cuenta las pérdidas tanto en el intercambiador como en el acumulador. Ésto es debido a que el método F-Chart dimensiona los paneles solares para la energía necesaria a la salida de los mismos tomando en cuenta únicamente las pérdidas de los paneles térmicos. Es por ello que el sistema F-Chart que se muestra en la mayoría de guías de diseño es una mera aproximación, ya que no toma en cuenta las pérdidas del resto de la instalación.

Por lo comentado en el párrafo anterior para realizar un cálculo más exacto de la instalación se procede al cálculo de las pérdidas de energía tanto en el acumulador como en el intercambiador.

8.1.4.1. Pérdidas del acumulador

El acumulador es una de las partes más importantes en la instalación, ya que es el elemento que nos almacena la energía en forma de agua caliente. El tamaño del depósito acumulador no es influyente para los cálculos de la instalación, como ya se verá en los cálculos del método F-Chart. En el acumulador se producen unas pérdidas a lo largo del día en forma de calor, ya que no está perfectamente aislado. Estas pérdidas las obtenemos a partir del catálogo del fabricante, éstas son facilitadas bajo el nombre pérdidas estáticas. En este TFG se ha optado por usar los datos del acumulador de la casa LAPESA GX6 PAC 400, ya que cumple los requisitos necesarios. Estas pérdidas nos vienen dadas en W y mediante la fórmula 11:

$$Pérdidas\ acumulador = pérdidas\ estáticas * tiempo \quad (11)$$

siendo:

Pérdidas estáticas: Dato de pérdidas facilitado por el fabricante en W.

Tiempo: Tiempo durante el que se efectúan las pérdidas, en nuestro caso 24 horas.

Para la realización de estos cálculos se ha usado unas pérdidas estáticas facilitadas por el suministrador de 99 W. Utilizando la ecuación 11 se obtiene las pérdidas diarias en el acumulador, siendo éstas de 2,38 kWh/día.

Una vez realizado este cálculo obtendremos las pérdidas del depósito en forma de calor diarias. Éstas, las tendremos que multiplicar por el número de días que tiene el mes para así obtener las pérdidas mensuales (tabla 32). Por último, se debe sumar éstas a la demanda que teníamos calculada en la tabla 31.

Hechos dichos cálculos se obtiene la demanda de energía a la entrada del depósito, reflejada en la tabla 33. Una vez obtenida la energía necesaria a la entrada del depósito se deben tener en cuenta las pérdidas del intercambiador de calor.

8.1.4.2. Pérdidas del intercambiador de calor

En el intercambiador de calor se producen pérdidas en forma de calor. Para poder tomar en cuenta dichas pérdidas en nuestra demanda de energía se debe calcular el rendimiento ofrecido por el mismo. El sistema solar térmico usa como refrigerante desde el captador hasta el intercambiador una mezcla de etilenglicol (normalmente la más extendida es la del 30 %) y en la parte del intercambiador al acumulador, agua común.

Los datos de la entalpía tanto del etilenglicol como del agua normal son extraídos del programa EES, estos datos se reflejan en la tabla 10. Las temperaturas de trabajo son extraídas de catálogo comercial de la empresa ALFA LAVAL, siendo el modelo escogido el CBH16-13H.

Fluido utilizado	Entalpía
h(agua 45°)	188,55
h(agua 35°)	146,68
h(etilenglicol 55°)	174,4
h(etilenglicol 45°)	136,6

Tabla 10 – Entalpías de los fluidos del intercambiador

El rendimiento del intercambiador se calcula mediante la ecuación 12.

$$\eta = \frac{h_{C_2H_6O_2 \cdot 55^\circ} - h_{C_2H_6O_2 \cdot 45^\circ}}{h_{agua_{45^\circ}} - h_{agua_{35^\circ}}} \quad (12)$$

Siendo:

$h_{C_2H_6O_2 \cdot 55^\circ}$: entalpía del anticongelante etilenglicol al 30 % en estado líquido comprimido a 55 grados centígrados.

$h_{C_2H_6O_2 \cdot 45^\circ}$: entalpía del anticongelante etilenglicol al 30 % en estado líquido comprimido a 45 grados centígrados.

$h_{agua_{45^\circ}}$: entalpía del agua en estado líquido comprimido a 45°C.

$h_{agua_{35^{\circ}}}$: entalpía del agua en estado líquido comprimido a 35°C.

Una vez obtenido el rendimiento del intercambiador, en este caso es de 90,28 %, se procede a aplicarlo a la demanda que poseíamos hasta el momento para así obtener la demanda real necesaria a la salida de las placas solares. Esta energía necesaria real viene reflejada en la tabla 34.

8.1.5. Aplicación del método F-Chart

El método F-Chart es un método de cálculo recomendado por el pliego de condiciones del IDAE que estima la contribución solar a los paneles solares térmicos. Según los datos históricos se realiza una estimación fiable de la radiación solar captada. Este método sólo es válido si tomamos de referencia datos históricos de un año o más. Por ello obtendremos los datos históricos de 5 años. Como se ha podido comprobar este método no es fiable si se realiza éste únicamente, ya que desprecia las pérdidas de parte de la instalación.

El método consta de una serie de pasos que serán explicados a continuación. Básicamente los pasos a seguir son: saber cuanta energía absorbe nuestro captador, energía que pierde el captador y por último sacar un porcentaje de cobertura solar, es decir, saber que tanto por ciento es capaz de darnos en nuestra instalación.

8.1.5.1. Cálculo de la energía absorbida por el captador solar

El primer paso es conocer la cantidad de radiación que se puede obtener en la localidad objeto del TFG. Para la obtención de la radiación necesitamos recurrir a los históricos de la estación meteorológica de Lira (Carnota), ya que es la mas próxima a Cee. Estos datos son extraídos de la página de Meteogalicia. El histórico tambien pueden ser obtenido del Atlas de Radiación Solar de Galicia aunque se consideran más exactos los datos de la página de Meteogalicia por ser más actuales.

Obtenemos los datos mensuales desde el 1 de enero de 2012 a al 31 de diciembre de 2017 y sacamos una media aritmética mensual reflejada en la tabla 11.

Mes	Media mensual
Enero	1,38
Febrero	2,30
Marzo	3,55
Abril	4,87
Mayo	5,72
Junio	6,42
Julio	6,52
Agosto	5,61
Septiembre	4,38
Octubre	2,80
Noviembre	1,78
Diciembre	1,30

Tabla 11 – Radiación diaria media mensual histórica

Los valores obtenidos son los correspondiente a la radiación media diaria mensual en $kWh/m^2 * dia$. Cómo se puede observar en la figura 58 la radiación es mucho más intensa en los meses de verano y se reduce gradualmente cuándo nos acercamos al invierno. Lo que es inversamente proporcional a nuestras necesidades, ya que los meses de invierno son los que más demanda de energía tendremos.

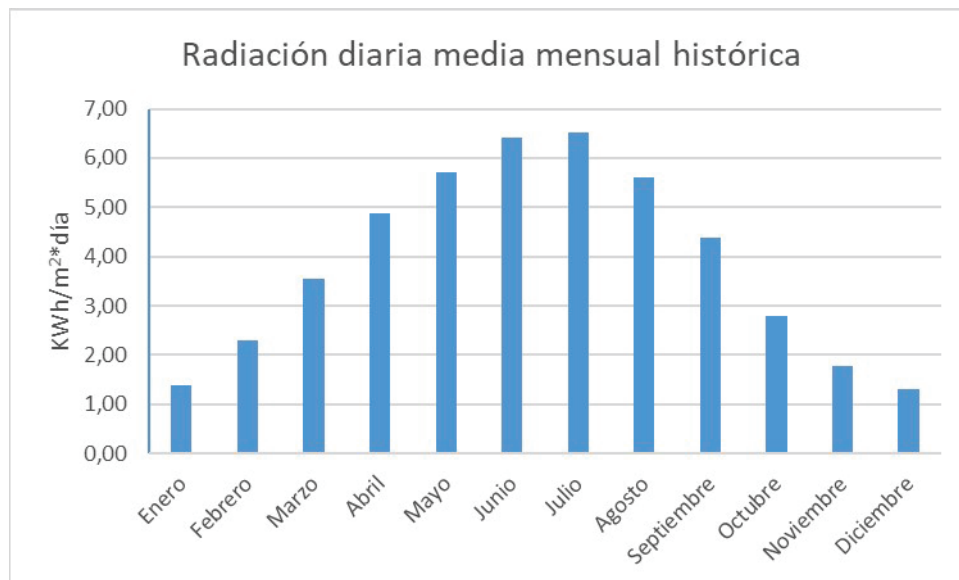


Figura 58 – Gráfico de la radiación diaria media mensual histórica

Una vez obtenidos dichos valores se procede al cálculo de la energía absorbida por el captador solar mediante la fórmula 13:

$$E_a = S * F_r(\tau\alpha)_n * \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} * \frac{F'_r}{F_r} * R_1 * N \quad (13)$$

Siendo:

E_a : Energía absorbida por el captador solar.

S : Superficie de captación (m^2).

$F_r(\tau\alpha)_n$: Factor de eficiencia óptica del captador.

$\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n}$: Modificador del ángulo de incidencia. Se toma como una constante de valor 0,96.

$\frac{F'_r}{F_r}$: Factor de corrección del captador-intercambiador. Se toma como una constante de valor 0,95.

N : Número de días del mes.

R_1 : Radiación media diaria mensual que incide sobre la superficie de captación (kWh/m^2).

Aplicando la fórmula 13 obtenemos los datos de energía captada en los paneles solares reflejados en la tabla 35 del anexo de cálculo.

Una vez obtenida la radiación captada por el panel solar se procede a calcular la relación en tanto por ciento entre la energía absorbida por el captador y la energía necesaria. Dicha relación será conocida como el parámetro D_1 . Este se calcula mediante la ecuación 14.

$$D_1 = \frac{E_a}{Q_a} \quad (14)$$

Siendo:

E_a : Energía absorbida por el captador solar.

Q_a : Energía necesaria mensual en kWh .

Mediante la fórmula 14 se calcula el parámetro D_1 para todos los meses del año reflejados en la tabla 36.

8.1.5.2. Energía perdida por el captador solar

Uno de los parámetros mas importantes del cálculo de la instalación es la energía perdida por el captador solar, es decir aplicar el rendimiento del mismo. En la instalación objeto de este TFG se usará el panel térmico T20PS de TERMICOL. Se realizarán los cálculos probando con 2 paneles solares conectados en paralelo. El DB HE4 indica que en ningún caso se podrá pasar del 110 % de la energía necesaria, ni del 100 % en 3 meses. Es por ello que no se pueden instalar más paneles. Este modelo es el que más se ajusta al límite de captación posible.

Antes de proceder al cálculo de las pérdidas de los paneles solares térmicos es necesario conocer los parámetros K_1 y K_2 .

- El parámetro K_1 es un factor de corrección debido al almacenamiento del ACS y calefacción, que relaciona la cantidad de agua almacenada con la superficie de captación. Dicho parámetro se obtiene gracias a la ecuación 15.

$$K_1 = \left[\frac{\text{Cantidad de agua acumulada}}{\text{Superficie de captacion}} \right]^{-0,25} \quad (15)$$

Siendo:

Cantidad de agua acumulada en Kg .

Superficie de captación en m^2 .

Gracias a este parámetro se puede comprobar que el tamaño del acumulador no influye casi en el comportamiento general de la instalación, ya que el parámetro que si influye fue el calculado en el apartado de pérdidas. Es más importante un acumulador bien aislado que el tamaño que posea. Es por ello que no se procede a un dimensionamiento exacto del mismo, si no a una adecuación al tamaño que presentan los diferentes fabricantes. Ya que el gasto es de 28 litros por persona, estando este sobredimensionado, de ACS se selecciona el modelo LAPESA GX6 PAC 400 que posee una capacidad para ACS de 147 litros.

Utilizando la ecuación 15 obtenemos el valor de K_1 para nuestro caso, recogido en la tabla 37 del anexo de cálculo.

- El parámetro K_2 es un factor de corrección para el agua acumulada que relaciona la temperatura de red, la temperatura de acumulación y la temperatura ambiente.

$$K_2 = \frac{11,6 + 1,18T_{ac} + 3,86T_t - 2,32T_a}{100 - T_a} \quad (16)$$

Siendo:

T_{ac} : Temperatura del ACS.

T_t : Temperatura del agua de red.

T_a : Temperatura ambiente media mensual.

Mediante la fórmula 16 obtenemos los valores mensuales de K_2 reflejados en la tabla 38.

Una vez calculados los parámetros K_1 y K_2 procedemos al cálculo de la energía perdida por el captador mediante la ecuación 17. Esta energía es la perdida por el captador en relación a la total que es capaz de captar.

$$E_p = S_c * F_r' U_L * (100 - T_a) * \Delta t * K_1 * K_2 \quad (17)$$

Siendo:

S_c : Superficie del captador en m^2 .

$F_r' U_L$: Es la multiplicación de $\frac{F_r'}{F_r}$ por $F_r U_L$ en donde: $F_r U_L$ es el coeficiente global de pérdidas de un captador.

Δt : período de tiempo en horas.

T_a : Temperatura media mensual.

K_1 : Factor de corrección del almacenamiento del ACS.

K_2 : Factor de corrección del ACS.

Una vez realizada esta operación se puede observar que las pérdidas son constantes a lo largo del año, es por ello, que cuanto mayor captación reciba mayor será su rendimiento. Este cálculo demuestra que el captador tiene un rendimiento inferior en invierno y mayor en verano, oscilando este (como indica el gráfico de rendimiento del fabricante en la figura 59) entre el 80 % y el 40 % aproximadamente.

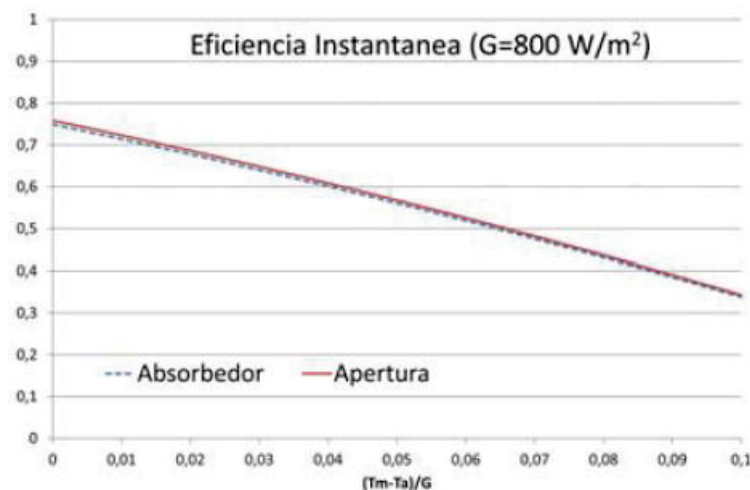


Figura 59 – Gráfico del rendimiento del captador

Aplicando la ecuación 17 obtenemos los datos mensuales de energía perdida por el captador, reflejados todos ellos en la tabla 39 del anexo de cálculo.

Una vez obtenida la energía perdida por el panel solar se procede a calcular la relación en tanto por ciento entre la energía perdida por el captador y la energía necesaria. Dicha relación será conocida como el parámetro D_2 . Éste se calcula mediante la ecuación 18.

$$D_2 = \frac{E_p}{Q_a} \quad (18)$$

Siendo:

E_p : Energía perdida por el captador solar.

Q_a : Energía necesaria mensual.

Mediante la fórmula 18 se calcula el parámetro D_2 para todos los meses del año, reflejados todos ellos en la tabla 40 del anexo de cálculo.

8.1.5.3. Cálculo de la fracción de carga calorífica mensual

Una vez calculados los parámetros D_1 y D_2 se procede al cálculo de la fracción de carga calorífica mensual. Este parámetro es la cantidad de energía que es capaz de suministrar la instalación. Viene en forma de tanto por ciento relacionando la capacidad de la instalación con las necesidades de consumo. El cálculo se realiza mediante la ecuación 19:

$$f = 1,029 * D_1 - 0,065 * D_2 - 0,245 * D_1^2 + 0,0018 * D_2^2 + 0,0215 * D_1^3 \quad (19)$$

Siendo:

D_1 : Relación entre energía absorbida por el captador y carga calorífica mensual.

D_2 : Relación entre energía perdida por el captador y carga calorífica mensual.

Mediante la fórmula 19 se calcula el valor de f para todos los meses, estando estos reflejados en la tabla 41.

En la tabla comprobamos que como se dijo con anterioridad no se pasa del 110 % de captación en relación con la energía demandada, ni se pasa del 100 % más de 3 meses. Es por ello que se puede observar que cumplimos con lo establecido en el DB HE 4.

8.1.5.4. Cálculo de la energía útil captada

Una vez obtenida la fracción de carga calorífica mensual procedemos al cálculo de la energía útil captada cada mes. El paso de pasar el tanto por ciento a valores reales es necesario para calcular posteriormente la capacidad total anual de la instalación. El cálculo se realiza mediante la ecuación 20:

$$Q_u = f * Q_a \quad (20)$$

Siendo:

f : La fracción de carga calorífica mensual.

Q_a : Energía necesaria mensual.

Mediante la fórmula 20 se calcula el valor de la Q_u para todos los meses, estando éstos reflejados en la tabla 20 del anexo de cálculo.

8.1.5.5. Cálculo de la cobertura solar anual

La cobertura solar anual es el tanto por ciento de energía necesaria para ACS y calefacción que logramos cubrir con la instalación térmica, esta misma se realiza mediante la relación entre

la energía útil captada y la energía necesaria. Para ello utilizaremos la ecuación 21:

$$F = \sum_{i=1}^{12} Q_u / \sum_{i=1}^{12} Q_a \quad (21)$$

Siendo:

$\sum_{i=1}^{12} Q_u$: Sumatorio de la energía útil captada anual.

$\sum_{i=1}^{12} Q_a$: Sumatorio de la energía necesaria anual.

El resultado de cobertura solar anual para nuestra instalación viene reflejado en la tabla 12:

Cobertura solar anual
0,1817

Tabla 12 – Cobertura solar anual

8.1.6. Geotermia

En el presente TFG se ha optado por la realización de un pozo vertical, ya que pese a ser más costoso tiene un rendimiento mucho mayor además de no necesitar una gran parcela de terreno. Para el cálculo de la instalación geotérmica mediante pozo vertical tomaremos como referencia las necesidades térmicas calculadas en la tabla 34, éstas son las correspondientes a las necesidades con calefacción de suelo radiante y ACS.

El cálculo de la geotermia se realiza en tres pasos fundamentales:

- Cálculo de potencia calorífica necesaria.
- Cálculo de la temperatura máxima de entrada del evaporador.
- Cálculo de la longitud de las sondas enterradas.

A continuación se procede a la explicación de cada uno de los pasos a seguir para el cálculo.

8.1.6.1. Cálculo potencia calorífica necesaria

En primer lugar debemos obtener la potencia calorífica necesaria que debe ofrecer nuestra instalación. En este caso el tiempo que va a estar encendida la calefacción va a ser mayor que antes, ya que el tiempo de arranque de la geotermia por bomba de calor es mucho mayor. Para ello utilizaremos la ecuación 22.

$$P_c = Q_a * N * h \quad (22)$$

Siendo:

P_c : Potencia calorífica necesaria.

Q_a : Energía mensual necesaria.

N : Días de cada mes.

h : Horas necesarias de calefacción encendida, en este caso 10 horas.

La potencia necesaria para cada mes es la potencia que debe entregar la instalación geotérmica al acumulador para poder abastecer la demanda. Dicha potencia viene reflejada en la tabla 43 del anexo de cálculo.

En los siguientes cálculos sólo se tomarán en cuenta los meses de inviernos, ya que son los de mayor demanda calorífica, y si cumple para los meses más desfavorables, cumplirá para todo el año.

8.1.6.2. Temperatura de máxima de entrada del evaporador

Se debe conocer la temperatura máxima de entrada al evaporador para que el sistema funcione, en caso de superar la temperatura máxima de entrada, el sistema no recogerá suficiente energía en forma de calor del terreno y las sondas calculadas no serán lo suficientemente largas. En este caso el evaporador es la sonda geotérmica enterrada que recoge el calor del terreno.

Primero se debe calcular la temperatura de entrada al evaporador que obtenemos con la bomba de calor seleccionada, para ello realizaremos un balance térmico de la bomba utilizando el rendimiento COP mediante la ecuación 23.

$$T_e = T_s - \frac{P_c * \frac{COP-1}{COP}}{C_p * \rho_{fluido\ refrigerante} * m} \quad (23)$$

Siendo:

T_e : Temperatura de entrada al evaporador.

T_s : Temperatura de salida del evaporador. En este caso utilizaremos la temperatura de 0°C como indica la norma UNE EN 14511-2.

P_c : Potencia calorífica necesaria.

COP : Rendimiento de la bomba de calor. Obtenido del catálogo comercial de la bomba de calor de la casa VALLIANT.

C_p : Calor específico del líquido refrigerante. En este caso el refrigerante propuesto es el R134a y las características han sido obtenidas del fabricante RECTIFICADORES GUASCH, S.A.

$\rho_{\text{fluido refrigerante}}$: Densidad del fluido refrigerante utilizado. En este caso el refrigerante propuesto es el R134a y las características han sido obtenidas del fabricante RECTIFICADORES GUASCH, S.A.

m : Caudal de la bomba de calor para el circuito de captación. Obtenido del catálogo comercial de la bomba de calor VWF 88 de la casa VALLIANT.

La norma UNE EN 14511-2 nombra que la temperatura aproximada de entrada del evaporador debe ser de unos -3°C , en este caso vemos que el mes más desfavorable es enero y febrero con una temperatura de $-2,99^{\circ}\text{C}$. Por lo que la bomba utilizada en este caso cumple la normativa. La temperatura de entrada al evaporador correspondiente a cada mes viene reflejada en la tabla 44.

Una vez obtenida la temperatura de entrada del evaporador, y vemos que es válida, se procede a calcular la temperatura máxima de entrada al evaporador con la temperatura de cualquiera de los meses indicados con anterioridad ya que son los más desfavorable. Para ello utilizaremos la ecuación 24.

$$T_{\text{emax}} = \frac{T_e + T_s}{2} \quad (24)$$

Siendo:

T_{emax} : Temperatura máxima de entrada al evaporador.

T_e : Temperatura de entrada al evaporador.

T_s : Temperatura de salida del evaporador.

Aplicando la ecuación 24 obtenemos que la temperatura de entrada mínima al evaporador es de $-1,48^{\circ}\text{C}$.

8.1.6.3. Longitud de la sonda geotérmica vertical

Previamente al cálculo de las sondas verticales se deben conocer la resistencia térmica de la tubería, el factor de carga de la instalación y la resistividad térmica del suelo.

1. Resistencia térmica de la tubería.

La resistencia térmica de la tubería es la dificultad que presenta la misma al paso de la energía en forma de calor. Se calcula mediante la ecuación 25.

$$R_t = \frac{1}{2 * \pi * K} * \log \left(\frac{D_0}{D_1} \right) \quad (25)$$

Siendo:

R_t : Resistencia térmica de la tubería.

K : Conductividad térmica del material. En este caso las tuberías son de PEX, por lo que la conductividad es de $0,41 \text{ (W/m} \cdot \text{K)}$. El dato está extraído del catálogo de tuberías de NUEVA TERRAIN. Se ha escogido esta tubería debido a que es la que mejor conductividad posee.

D_0 : Diámetro exterior de la tubería. En este caso es de 32 mm. El diámetro es escogido ya que es el más utilizado además de ser una medida estandarizada.

D_1 : Diámetro interior de la tubería. En este caso es de 29,6 mm. El diámetro es escogido ya que es el más utilizado además de ser una medida estandarizada.

Una vez realizado el cálculo obtenemos que la Resistencia térmica de la tubería es de $0,013 \text{ (K/(W/m))}$.

2. Factor de carga de la instalación.

El factor de carga, o de utilización, de la instalación es la relación entre la demanda calorífica de la vivienda y la potencia calorífica que es capaz de generar la bomba de calor. Se calcula mediante la ecuación 26.

$$F = \frac{P_c}{P_{Bomba}} \quad (26)$$

Siendo:

F : Factor de carga de la instalación.

P_c : Potencia calorífica necesaria.

P_{Bomba} : Potencia calorífica máxima que es capaz de entregar la bomba de calor. Está extraído del catálogo comercial de la casa VALLIANT.

El factor de carga correspondiente a cada mes viene reflejado en la tabla 45 del anexo de cálculo.

3. Resistividad térmica del suelo.

El suelo en Galicia, y especialmente en la zona donde está ubicada la vivienda objeto de este TFG, es de tipo granítico. La conductividad térmica del granito es aproximadamente $3 \text{ W/m} \cdot \text{K}$. La resistividad es la inversa de la conductividad por lo que obtenemos que la resistividad térmica de nuestro suelo es aproximadamente $0,33 \text{ m} \cdot \text{K/W}$.

Una vez obtenidos los datos previos se procede al cálculo de los metros de sonda necesarios para satisfacer nuestra demanda. Para ello utilizaremos la ecuación 27.

$$L = P_c * \frac{\frac{COP-1}{COP} * (R_t + R_s * F)}{T_{med} * T_{emax}} \quad (27)$$

Siendo:

L : Longitud de la sonda vertical.

P_c : Potencia calorífica demandada.

COP : Rendimiento de la bomba de calor. Extraída del catálogo comercial de la casa VALLIANT.

R_t : Resistencia térmica de la tubería.

R_s : Resistencia térmica del suelo.

F : Factor de carga de la instalación.

T_{med} : Temperatura media del terreno. En este caso es de 11,5°C.

T_{emax} : Temperatura máxima de entrada al evaporador.

La temperatura media del terreno es 11,5°C debido a que la temperatura aumenta de manera lineal entorno a 3 grados cada 100 metros a partir de los 20 metros, que se estabiliza en 10°. Debido a que la profundidad máxima recomendada para los pozos es de 120 metros, la temperatura máxima alcanzada es de 13°C. Haciendo la media entre 13 y 10 nos dan los 11,5°C de temperatura media.

Como podemos observar en la tabla 46 del anexo de cálculo la condición mas desfavorable es para un sonda de 163,7 metros. Las perforaciones no suelen exceder de 100 metros, pero es una tubería en U, por lo que lo máximo para un solo pozo son 200 metros. Como podemos observar en este caso solo sería necesario la perforación de un pozo de 81,85 metros.

Pese a que la bomba de calor puede ser utilizada para refrigeración, ya que está es reversible, no es recomendable una refrigeración por suelo. El tener un suelo que genera frío no es recomendable para la salud ya que el cambio de temperatura por los pies produce varias enfermedades.

8.2. Mantenimiento de las instalaciones

El mantenimiento de la instalación es un factor muy importante para poder mantener el rendimiento de la misma. Un mal mantenimiento provocará posibles averías graves así como una bajada del rendimiento, lo que provocará que la instalación no suministre la demanda deseada. Dentro del mantenimiento de las instalaciones cabe destacar fundamentalmente dos tipos, el mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo. Ambos vienen reflejados en el pliego de condiciones del IDAE.

8.2.1. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo se trata de inspecciones visuales y verificación de actuaciones que aplicadas a la instalación permiten mantener la misma dentro de los límites aceptables de funcionamiento. El mantenimiento preventivo constará como mínimo de una revisión general anual para las instalaciones de menos de 20 m^2 , que es nuestro caso. Dicha revisión debe siempre ser realizada por personal técnico cualificado. Para cada elemento del sistema de captación se realizarán las revisiones que figuran en la tabla 13.

Equipo	Frecuencia (meses)	Tipo de revisión
Captadores	6	Diferencias sobre original
		Diferencias entre captadores
Cristales	6	Condensaciones y suciedad
Juntas	6	Agrietamientos, deformaciones
Absorbedor	6	Corrosión, deformaciones
Carcasa	6	Deformación, oscilaciones, ventanas de respiración
Conexiones	6	Aparición de fugas
Estructura	6	Degradación, indicios de corrosión y apriete de tornillos
Captadores	12	Tapado parcial del campo de captadores
Captadores	12	Destapado parcial del campo de captadores
Captadores	12	Vaciado parcial del campo de captadores
Captadores	12	Llenado parcial del campo de captadores

Tabla 13 – Mantenimiento preventivo del sistema de captación

Para cada elemento del sistema de acumulación se realizarán las revisiones que figuran en la tabla 14.

Equipo	Frecuencia (meses)	Tipo de revisión
Depósito	12	Presencia de lodos en fondo
Ánodos de sacrificio	12	Comprobación del desgaste
Ánodos de corriente impresa	12	Comprobación del buen funcionamiento
Aislamiento	12	Comprobar que no hay humedad

Tabla 14 – Mantenimiento preventivo del sistema de acumulación

Para cada elemento del sistema de intercambio se realizarán las revisiones que figuran en la tabla 15.

Equipo	Frecuencia (meses)	Tipo de revisión
Intercambiador de placas	12	Eficiencia y prestaciones

Tabla 15 – Mantenimiento preventivo del intercambiador

Para cada elemento del sistema del circuito hidráulico se realizarán las revisiones que

figuran en la tabla 16.

Equipo	Frecuencia (meses)	Tipo de revisión
Fluido refrigerante	12	Comprobar su densidad y pH
Estanqueidad	24	Efectuar prueba de presión
Aislamiento al exterior	6	Degradación protección uniones y ausencia de humedad
Aislamiento al interior	12	Uniones y ausencia de humedad
Purgador automático	12	Limpieza
Purgador manual	6	Vaciar el aire del botellín
Bomba	12	Estanqueidad
Vaso de expansión cerrado	6	Comprobación de la presión
Vaso de expansión abierto	6	Comprobación del nivel
Sistema de llenado	6	Actuación
Válvula de corte	12	CF -Actuaciones (abrir y cerrar) para evitar agarrotamiento
Válvula de seguridad	12	Actuación.

Tabla 16 – Mantenimiento preventivo del sistema hidráulico

8.2.2. Mantenimiento correctivo

Son las operaciones realizadas debido a la aparición de cualquier problema en el mantenimiento preventivo. Los costes económicos del mantenimiento correctivo forman parte del contrato de mantenimiento que se firmara con la empresa suministradora. La empresa, además, debe dar un plazo de garantía de 3 años para todos los materiales y elementos utilizados en la instalación.

8.3. Conclusiones

En principio se sacarán las conclusiones obtenidas diferenciando las instalaciones solar térmica y geotérmica, para al final realizar una conclusión global del TFG. Para el cálculo de las amortizaciones no se tomará en cuenta el gasto en el acumulador y la instalación de suelo radiante, ya que cualquier tipo de instalación deberá introducirla, además de contar con un gasto de diseño de 1200 € para todas ellas.

8.3.1. Conclusiones de la instalación solar térmica

Como se ha podido observar en los cálculos previos la instalación solar térmica nos aporta muy poca energía debido a que el DB HE no nos permite generar más del 110% de lo que se vaya a consumir. En caso de querer ser autosuficiente con paneles solares deberemos colocarlos con autodesconexión según el número de paneles que nos haga falta por mes. En la tabla 17 se pueden observar el número de paneles que sería necesarios cada mes.

Mes	Paneles
Enero	83
Febrero	46
Marzo	28
Abril	3
Mayo	2
Junio	2
Julio	2
Agosto	2
Septiembre	3
Octubre	4
Noviembre	61
Diciembre	90

Tabla 17 – Número de paneles necesarios para cubrir toda la demanda

Podemos observar que serían necesarios 90 paneles para cubrir toda la demanda. Al cubrir toda la demanda no sería necesaria una caldera de biomasa por lo que el presupuesto de la instalación con 90 paneles y sin caldera sería de 62104,54 €. La instalación no resultaría viable ya que nos sale mucho mas cara que la geotérmica (20343.26 €) y tambien nos cubre el 100 % de las necesidades.

Un apartado importante a analizar es la amortización de la instalación, para ello se hará la comparativa con una instalación con la misma demanda eléctrica y otra con caldera de biomasa para el 100 % de la demanda.

■ Amortización con respecto a instalación 100 % eléctrica

Previamente se procede a calcular cuanto nos costaría al mes la instalación eléctrica y la energía auxiliar a utilizar por la instalación solar térmica.

- La demanda de energía media mensuales de 1169,91 kWh a un precio media de 0,12 €/kWh nos da que el gasto mensual es de 140,39 € aproximadamente.
- Como la instalación solar térmica no nos da toda la energía demandada se debe usar como energía auxiliar una caldera de pellets a la cual hay que calcularle el consumo mensual. Para saber que energía debe aportar la caldera utilizaremos la demanda mensual y le restaremos la aportación de la solar, este porcentaje de aportación está calculado en la tabla 19. En la tabla 18 vemos la aportación mensual que debe realizar la caldera.

Mes	Aportación caldera
Enero	2531,21
Febrero	2223,86
Marzo	2364,09
Abril	34,70
Mayo	0,00
Junio	0,00
Julio	0,00
Agosto	0,00
Septiembre	43,74
Octubre	125,21
Noviembre	2410,33
Diciembre	2532,15

Tabla 18 – Aportación caldera de biomasa en kWh

Realizando la media obtenemos que la caldera debe aportar 1022,11 kWh mensuales. Según los fabricantes de pellets, cada kWh de energía producido en una caldera de 10kW como la nuestra cuesta 0,048 €, por lo que, el gasto medio mensual en la caldera es de 49,06 € aproximadamente.

Una vez obtenido los datos previos se procede al cálculo de la amortización en meses mediante la ecuación 28.

$$Amortizacion = \frac{Coste\ instalacion}{Coste\ electrico - Consumo\ biomasa} \quad (28)$$

Utilizando la ecuación 28 observamos que la amortización de la instalación es de 9 años y 10 meses.

■ Amortización con respecto a instalación 100 % por pellets

El coste mensual para la instalación 100 % por pellets es de 56,15 €. Para el cálculo de la amortización en este caso debemos descontar la instalación de la caldera ya que ya estaría instalada y solo añadiremos la parte solar. Por lo que aplicando la ecuación 28 nos quedaría un amortización de 69 años y 4 meses.

8.3.2. Conclusiones de la instalación geotérmica

La amortización se realizará con respecto a una instalación 100 % eléctrica y una con 100 % biomasa.

■ Amortización con respecto a instalación 100 % eléctrica

Como se calculó en el apartado anterior el coste de la instalación mediante energía eléctrica es de 140,39 €. Utilizando la ecuación 28 obtenemos que el plazo de amortización es de 12 años y 1 meses.

■ Amortización con respecto a instalación 100 % pellets

Como se calculó en el apartado anterior el consumo de la instalación de biomasa será de 56,15 €. Utilizando la ecuación 28 obtenemos que el plazo de amortización es de 30 años y 2 meses.

Una vez obtenidos las amortizaciones anteriores realizamos la de una instalación con caldera de biomasa respecto a la eléctrica. Para ello utilizamos la ecuación 28 y nos da una amortización de 5 años y 9 meses, a partir de este tiempo tendremos un ahorro de 84,24 € mensuales.

En la tabla 19 podemos observar una comparativa general del tiempo de amortización de cada instalación.

Tipo instalación	Precio instalación	Amortización respecto electricidad		Amortización respecto biomasa	
	€	Años	Meses	Años	Meses
Solar con 90 paneles	62104,54	36	10	92	2
Solar con 83 paneles	62508,74	37	3	86	2
Solar con 61 paneles	48457,37	29	7	69	6
Solar con 46 paneles	38876,90	24	7	59	6
Solar con 28 paneles	27380,33	18	9	49	10
Solar con 4 paneles	12051,56	10	7	55	8
Solar con 3 paneles	11412,86	10	2	59	10
Solar con 2 paneles	10774,16	9	10	69	4
Geotérmica	20343,26	12	1	30	2
Biomasa	6327,90	5	9	0	0

Tabla 19 – Comparativa de las amortizaciones de las diferentes instalaciones

Realizadas todas las amortizaciones observamos una serie de conclusiones:

- El método de cálculo F-Chart no es un método exacto, ya que no toma en cuenta buena parte de las pérdidas de la instalación.
- La instalación solar térmica no es una opción viable en la zona de Cee, ya que dependeremos en casi su totalidad de la caldera de biomasa para satisfacer las necesidades, además de poseer un alto tiempo de amortización.
- La instalación geotérmica es una gran opción a tener en cuenta, ya que pese a su tiempo de amortización, obtendremos una energía con 0 emisiones de CO₂. Además, de ser capaz de proporcionarnos toda la energía necesaria tanto para ACS como para calefacción.

- Una instalación de biomasa en una opción muy a tener en cuenta ya que con un periodo reducido de amortización obtenemos un ahorro ahorro en cuanto a la factura energética.

TÍTULO: ESTUDIO DE LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA PARA UNA VIVIENDA

ANEXOS

PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

AVDA. 19 DE FEBREIRO, S/N

15405 - FERROL

FECHA: FEBRERO DE 2019

AUTOR: EL ALUMNO

Fdo.: JOSÉ MANUEL VÁZQUEZ FERRERO

Índice del documento ANEXOS

9 Documentación de partida	101
10 Cálculos	104
10.1 Cálculo de características del agua	104
10.1.1 Agua caliente sanitaria	104
10.2 Instalación solar térmica	104
10.2.0.1 Pérdidas del acumulador	110
10.2.0.2 Pérdidas del intercambiador de calor	111
10.2.1 Método de cálculo F-Chart	111
10.2.1.1 Cálculo de la energía absorbida por el captador solar	111
10.2.1.2 Energía perdida por el captador solar	112
10.2.1.3 Cálculo de la fracción de carga calorífica mensual	114
10.2.1.4 Cálculo de la energía útil captada	114
10.3 Geotermia	115
10.3.1 Cálculo potencia calorífica necesaria	115
10.3.2 Temperatura máxima de entrada del evaporador	116
10.3.3 Longitud de la sonda geotérmica vertical	116

9 Documentación de partida



ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

ASIGNACIÓN DE TRABAJO FIN DE GRADO

En virtud de la solicitud efectuada por:

En virtud da solicitude efectuada por:

APELLIDOS, NOMBRE: Vazquez Ferrero, Jose Manuel

APELIDOS E NOME:

DNI: XXXXXXXXXX **Fecha de Solicitud:** OCT2018

DNI: XXXXXXXXXX *Fecha de Solicitude:*

Alumno de esta escuela en la titulación de Grado en Ingeniería Eléctrica, se le comunica que la Comisión de Proyectos ha decidido asignarle el siguiente Trabajo Fin de Grado:

O alumno de esta escola na titulación de Grado en Enxeñería Eléctrica, comunícaselle que a Comisión de Proxectos ha decidido asignarlle o seguinte Traballo Fin de Grado:

Título T.F.G: Estudio de la instalación de un sistema de almacenamiento de energía térmica para una vivienda

Número TFG: 770G02A173

TUTOR: (Titor) Casteleiro Roca, José Luis

COTUTOR/CODIRECTOR: Esteban Jove Pérez

La descripción y objetivos del Trabajo son los que figuran en el reverso de este documento:

A descrición e obxectivos do proxecto son os que figuran no reverso deste documento.

Ferrol a Lunes, 8 de Octubre del 2018

Retirei o meu Traballo Fin de Grado o día _____ de _____ do ano _____

Fdo: Vazquez Ferrero, Jose Manuel

DESCRIPCIÓN Y OBJETIVO:

El objeto principal de este Trabajo Final de Grado será el estudio de la instalación térmica de una vivienda unifamiliar con acumulador térmico. El TFG incluirá un estudio sobre los consumos que suele tener una vivienda, así como la clara diferenciación entre los niveles térmicos necesarios (ACS y calefacción). En el TFG se estudiará el dimensionamiento óptimo de un tanque de inercia según consumo y ubicación geográfica, así como el estudio de la energía necesaria para reponer el acumulador a su estado previo. Además, se incluirá el dimensionamiento de una instalación solar térmica y una caldera de biomasa como aporte térmico al acumulador.

ALCANCE:

- Estudio de la instalación térmica de una vivienda y los acumuladores de inercia disponibles en el mercado.
- Estudio sobre los sistemas solares térmicos.
- Estudio de los consumos típicos de una vivienda, atendiendo principalmente a la distribución de los consumos a lo largo del día y a los niveles térmicos de dichos consumos, incluyendo tanto la calefacción como el aire acondicionado.
- Dimensionamiento de un acumulador de inercia para los consumos estudiados.
- Cálculo de la energía térmica necesaria y dimensionamiento tanto de un sistema solar que haga el aporte, como de una caldera de biomasa u otros sistemas renovables disponibles en la actualidad.

10 Cálculos

10.1. Cálculo de características del agua

10.1.1. Agua caliente sanitaria

Aplicando la ecuación 1 obtenemos las temperaturas medias mensuales de Cee que vemos en la tabla 20.

<i>Mes</i>	T_{afcp}	Δz	B	T_{afy}
Enero	10	-23	0,0066	10,1518
Febrero	10	-23	0,0066	10,1518
Marzo	11	-23	0,0066	11,1518
Abril	12	-23	0,0033	12,0759
Mayo	13	-23	0,0033	13,0759
Junio	14	-23	0,0033	14,0759
Julio	16	-23	0,0033	16,0759
Agosto	16	-23	0,0033	16,0759
Septiembre	15	-23	0,0033	15,0759
Octubre	14	-23	0,0066	14,1518
Noviembre	12	-23	0,0066	12,1518
Diciembre	11	-23	0,0066	11,1518

Tabla 20 – Temperatura del agua de la red en Cee

10.2. Instalación solar térmica

1. Cálculo de energía necesaria para ACS

En la tabla 21 podemos ver la energía mensual necesaria para ACS obtenida mediante la ecuación 2.

<i>Mes</i>	C_e	C	N	T_{ac}	T_t	$Q_a(J/mes)$	$Q_a(kWh)$
Enero	4187	140	31	60	10,1518	905820554,2	251,6168
Febrero	4187	140	28	60	10,1518	818160500,5	227,2668
Marzo	4187	140	31	60	11,1518	887648974,2	246,5692
Abril	4187	140	30	60	12,0759	842764468,1	234,1012
Mayo	4187	140	31	60	13,0759	852685037,1	236,8570
Junio	4187	140	30	60	14,0759	807593668,1	224,3316
Julio	4187	140	31	60	16,0759	798170297,1	221,7140
Agosto	4187	140	31	60	16,0759	798170297,1	221,7140
Septiembre	4187	140	30	60	15,0759	790008268,1	219,4467
Octubre	4187	140	31	60	14,1518	833134234,2	231,4262
Noviembre	4187	140	30	60	12,1518	841429736,3	233,7305
Diciembre	4187	140	31	60	11,1518	887648974,2	246,5692

Tabla 21 – Energía mensual necesaria para elevar la temperatura a 60°C (ideal)

2. Cálculo energía necesaria para calefacción

Las potencias necesarias por estancia calculadas mediante la ecuación 3 vienen reflejadas en la tabla 22, donde para todos los meses se ha aplicado la misma orientación (0,92), aislamiento (0,93), zona climática (1,04) y constante (85).

<i>Estancias</i>	<i>Área</i>	<i>Potencia</i>
Habitación principal	24,9	1883,31
Habitación 1	15,6	1179,91
Habitación 2	16,4	1240,41
Habitación 3	16	1210,16
Cuarto de baño 1	17,4	1316,05
Cuarto de baño 2	17,4	1316,05
Cocina	16	1210,16
Salón-comedor	34,8	2632,10
Despacho	19,6	1482,45
Pasillo 1	13,6	1028,64
Pasillo 2	13,6	1028,64

Tabla 22 – Potencia necesaria por estancia

a) Calefacción tipo radiador

El número de elementos de radiador necesarios calculados mediante la ecuación 4 vienen reflejados en la tabla 23.

<i>Estancias</i>	<i>Potencia demandada</i>	<i>Potencia elemento</i>	<i>Número de elementos</i>	<i>Redondeo</i>
Habitación principal	1883,31	156,2	12,06	13
Habitación 1	1179,91	156,2	7,55	8
Habitación 2	1240,41	156,2	7,94	8
Habitación 3	1210,16	156,2	7,75	8
Cuarto de baño 1	1316,05	156,2	8,43	9
Cuarto de baño 2	1316,05	156,2	8,43	9
Cocina	1210,16	156,2	7,75	8
Salón-comedor	2632,10	156,2	16,85	17
Despacho	1482,45	156,2	9,49	10
Pasillo 1	1028,64	156,2	6,59	7
Pasillo 2	1028,64	156,2	6,59	7

Tabla 23 – Número de elementos necesarios

La potencia real emitida por los radiadores viene reflejada en la tabla 24.

<i>Estancias</i>	<i>Número de elementos</i>	<i>Potencia elemento</i>	<i>Potencia total</i>
Habitación principal	6	156,2	937,2
	7	156,2	1093,4
Habitación 1	8	156,2	1249,6
Habitación 2	8	156,2	1249,6
Habitación 3	8	156,2	1249,6
Cuarto de baño 1	9	156,2	1405,8
Cuarto de baño 2	9	156,2	1405,8
Cocina	8	156,2	1249,6
Salón-comedor	8	156,2	1249,6
	9	156,2	1405,8
Despacho	10	156,2	1562
Pasillo 1	7	156,2	1093,4
Pasillo 2	7	156,2	1093,4

Tabla 24 – Potencia emitida por los radiadores

Los resultados del caudal necesario para cada estancia calculado mediante la ecuación 5 vienen reflejados en la tabla 25.

<i>Estancias</i>	P_t	h_s	h_e	Q
Habitación principal	937,2	188,5	251,3	53,72
	1093,4	188,5	251,3	62,68
Habitación 1	1249,6	188,5	251,3	71,63
Habitación 2	1249,6	188,5	251,3	71,63
Habitación 3	1249,6	188,5	251,3	71,63
Cuarto de baño 1	1405,8	188,5	251,3	80,59
Cuarto de baño 2	1405,8	188,5	251,3	80,59
Cocina	1249,6	188,5	251,3	71,63
Salón-comedor	1249,6	188,5	251,3	71,63
	1405,8	188,5	251,3	80,59
Despacho	1562	188,5	251,3	89,54
Pasillo 1	1093,4	188,5	251,3	62,68
Pasillo 2	1093,4	188,5	251,3	62,68

Tabla 25 – Caudal necesario

Los litros diarios necesarios calculados mediante la ecuación 6 vienen reflejados en la tabla 26.

<i>Estancias</i>	Q	h	l
Habitación principal	53,72	5	268,62
	62,68	5	313,39
Habitación 1	71,63	5	358,17
Habitación 2	71,63	5	358,17
Habitación 3	71,63	5	358,17
Cuarto de baño 1	80,59	5	402,94
Cuarto de baño 2	80,59	5	402,94
Cocina	71,63	5	358,17
Salón-comedor	71,63	5	358,17
	80,59	5	402,94
Despacho	89,54	5	447,71
Pasillo 1	62,68	5	313,39
Pasillo 2	62,68	5	313,39

Tabla 26 – Litros necesarios al día

La energía necesaria de calefacción por radiadores para los meses de invierno es calculada mediante la ecuación 7. Ésta viene reflejada en la tabla 27.

<i>Mes</i>	C_e	C	N	T_{ac}	T_t	$Q_a(J/mes)$	$Q_a(kWh/mes)$
Enero	4187	4656,15	31	60	45	9065320104	2518,14
Febrero	4187	4656,15	28	60	45	8188031061	2274,45
Marzo	4187	4656,15	31	60	45	9065320104	2518,14
Noviembre	4187	4656,15	30	60	45	8772890423	2436,91
Diciembre	4187	4656,15	31	60	45	9065320104	2518,14

Tabla 27 – Energía necesaria para calefacción por radiadores**b) Calefacción tipo suelo radiante**

Los resultados de los caudales necesarios para calefactar las diferentes estancias mediante suelo radiante son calculados mediante la ecuación 8 y vienen reflejados en la tabla 28, donde para todas las estancias se ha aplicado la misma q (75,64), $Dt(id-ret)$ (5), $Cesp$ (4900), Ro (0,0597), Ru (1,72), Ti (21) y Tu (9,6).

<i>Estancias</i>	A	P	M
Habitación principal	24,9	1883,31	0,0863
Habitación 1	15,6	1179,91	0,0541
Habitación 2	16,4	1240,41	0,0568
Habitación 3	16	1210,16	0,0554
Cuarto de baño 1	17,4	1316,05	0,0603
Cuarto de baño 2	17,4	1316,05	0,0603
Cocina	16	1210,16	0,0554
Salón-comedor	34,8	2632,10	0,1206
Despacho	19,6	1482,45	0,0679
Pasillo 1	13,6	1028,64	0,0471
Pasillo 2	13,6	1028,64	0,0471

Tabla 28 – Caudal necesario para calefacción por suelo radiante

Mediante la utilización de la ecuación 9 obtenemos los litros de agua utilizados por la calefacción de suelo radiante estando éstos reflejados en la tabla 29.

<i>Estancias</i>	<i>M</i>	<i>h</i>	<i>l</i>
Habitación principal	0,0863	5	1552,99
Habitación 1	0,0541	5	972,96
Habitación 2	0,0568	5	1022,85
Habitación 3	0,0554	5	997,91
Cuarto de baño 1	0,0603	5	1085,22
Cuarto de baño 2	0,0603	5	1085,22
Cocina	0,0554	5	997,91
Salón-comedor	0,1206	5	2170,45
Despacho	0,0679	5	1222,44
Pasillo 1	0,0471	5	848,22
Pasillo 2	0,0471	5	848,22
Consumo total	0,7114	5	12804,40

Tabla 29 – Consumo calefacción radiante en litros

La energía a aportar para el uso de la calefacción por suelo radiante es calculada mediante la ecuación 10 viene reflejada en la tabla 30.

<i>Mes</i>	<i>C_e</i>	<i>C</i>	<i>N</i>	<i>T_{ac}</i>	<i>T_t</i>	<i>Q_a(J/mes)</i>	<i>Q_a(kWh/mes)</i>
Enero	4187	12804,40	31	40	35	8309861853	2308,29
Febrero	4187	12804,40	28	40	35	7505681673	2084,91
Marzo	4187	12804,40	31	40	35	8309861853	2308,29
Noviembre	4187	12804,40	30	40	35	8041801793	2233,83
Diciembre	4187	12804,40	31	40	35	8309861853	2308,29

Tabla 30 – Energía necesaria para calefacción por suelo radiante

La energía total que debe aportar la instalación para satisfacer la demanda viene reflejada en la tabla 31. Siendo ésta, la suma de las necesidades de ACS y de calefacción.

<i>Mes</i>	$Q_a(ACS)$	$Q_a(Calefacción)$	$Q_a(Total)$
Enero	251,62	2308,29	2559,91
Febrero	227,27	2084,91	2312,18
Marzo	246,57	2308,29	2554,86
Abril	234,10	0,00	234,10
Mayo	236,86	0,00	236,86
Junio	224,33	0,00	224,33
Julio	221,71	0,00	221,71
Agosto	221,71	0,00	221,71
Septiembre	219,45	0,00	219,45
Octubre	231,43	0,00	231,43
Noviembre	233,73	2233,83	2467,56
Diciembre	246,57	2308,29	2554,86

Tabla 31 – Energía total necesaria para ACS y calefacción**10.2.0.1. Pérdidas del acumulador**

Las pérdidas mensuales del acumulador calculadas mediante la ecuación 11 y multiplicadas por el número de días vienen en la tabla 32.

<i>Mes</i>	<i>Pérdidas diarias</i>	<i>N</i>	<i>Pérdidas mensuales</i>
Enero	2,38	31	73,66
Febrero	2,38	28	66,53
Marzo	2,38	31	73,66
Abril	2,38	30	71,28
Mayo	2,38	31	73,66
Junio	2,38	30	71,28
Julio	2,38	31	73,66
Agosto	2,38	31	73,66
Septiembre	2,38	30	71,28
Octubre	2,38	31	73,66
Noviembre	2,38	30	71,28
Diciembre	2,38	31	73,66

Tabla 32 – Pérdidas mensuales del acumulador

La demanda de energía teniendo en cuenta las pérdidas del acumulador viene reflejada en la tabla 33.

<i>Mes</i>	Q_a	<i>Pérdidas mensuales</i>	$Q_a(Total)$
Enero	2559,91	73,66	2633,57
Febrero	2312,18	66,53	2378,71
Marzo	2554,86	73,66	2628,52
Abril	234,10	71,28	305,38
Mayo	236,86	73,66	310,51
Junio	224,33	71,28	295,61
Julio	221,71	73,66	295,37
Agosto	221,71	73,66	295,37
Septiembre	219,45	71,28	290,73
Octubre	231,43	73,66	305,08
Noviembre	2467,56	71,28	2538,84
Diciembre	2554,86	73,66	2628,52

Tabla 33 – Energía necesaria a la entrada del depósito**10.2.0.2. Pérdidas del intercambiador de calor**

La energía necesaria real viene reflejada en la tabla 34.

<i>Mes</i>	Q_a	<i>Rendimiento intercambiador</i>	$Q_a(total)$
Enero	2633,57	0,9028	2917,13
Febrero	2378,71	0,9028	2634,83
Marzo	2628,52	0,9028	2911,54
Abril	305,38	0,9028	338,26
Mayo	310,51	0,9028	343,95
Junio	295,61	0,9028	327,44
Julio	295,37	0,9028	327,17
Agosto	295,37	0,9028	327,17
Septiembre	290,73	0,9028	322,03
Octubre	305,08	0,9028	337,93
Noviembre	2538,84	0,9028	2812,21
Diciembre	2628,52	0,9028	2911,54

Tabla 34 – Energía necesaria a la entrada del intercambiador de calor**10.2.1. Método de cálculo F-Chart****10.2.1.1. Cálculo de la energía absorbida por el captador solar**

Aplicando la fórmula 13 obtenemos los datos de energía captada en los paneles solares reflejados en la tabla 35.

<i>Mes</i>	<i>S</i>	$Fr(T\alpha)n$	$(T\alpha)/(T\alpha)n$	$F'r/Fr$	R_1	<i>N</i>	E_A
Enero	3,8	0,774	0,96	0,95	1,4	31	114,68
Febrero	3,8	0,774	0,96	0,95	2,3	28	172,81
Marzo	3,8	0,774	0,96	0,95	3,5	31	295,16
Abril	3,8	0,774	0,96	0,95	4,9	30	392,00
Mayo	3,8	0,774	0,96	0,95	5,7	31	475,52
Junio	3,8	0,774	0,96	0,95	6,4	30	516,95
Julio	3,8	0,774	0,96	0,95	6,5	31	542,23
Agosto	3,8	0,774	0,96	0,95	5,6	31	466,82
Septiembre	3,8	0,774	0,96	0,95	4,4	30	352,29
Octubre	3,8	0,774	0,96	0,95	2,8	31	233,10
Noviembre	3,8	0,774	0,96	0,95	1,8	30	143,58
Diciembre	3,8	0,774	0,96	0,95	1,3	31	108,22

Tabla 35 – Energía absorbida por el captador

Mediante la fórmula 14 se calcula el parámetro D_1 para todos los meses del año reflejados en la tabla 36.

<i>Mes</i>	E_A	Q_a	D_1
Enero	114,68	2917,13	0,0393
Febrero	172,81	2634,83	0,0656
Marzo	295,16	2911,54	0,1014
Abril	392,00	338,26	1,1589
Mayo	475,52	343,95	1,3825
Junio	516,95	327,44	1,5788
Julio	542,23	327,17	1,6573
Agosto	466,82	327,17	1,4268
Septiembre	352,29	322,03	1,0940
Octubre	233,10	337,93	0,6898
Noviembre	143,58	2812,21	0,0511
Diciembre	108,22	2911,54	0,0372

Tabla 36 – Valores del parámetro D_1

10.2.1.2. Energía perdida por el captador solar

Utilizando la ecuación 15 obtenemos el valor de K_1 para nuestro caso, recogido en la tabla 37.

<i>S</i>	<i>Capacidad del acumulador</i>	K_1
3,8	341	0,9561

Tabla 37 – Valor del parámetro K_1

Mediante la fórmula 16 obtenemos los valores mensuales de K_2 reflejados en a tabla 38.

<i>Mes</i>	T_{AC}	T_T	T_A	K_2
Enero	60	10,15	10,8	1,08
Febrero	60	10,15	10,6	1,08
Marzo	60	11,15	12,3	1,11
Abril	60	12,08	13,5	1,13
Mayo	60	13,08	15	1,15
Junio	60	14,08	17,5	1,17
Julio	60	16,08	19,1	1,24
Agosto	60	16,08	19,4	1,23
Septiembre	60	15,08	18,4	1,20
Octubre	60	14,15	16,3	1,19
Noviembre	60	12,15	13,3	1,14
Diciembre	60	11,15	11,4	1,12

Tabla 38 – Valores del parámetro K_2

Aplicando la ecuación 17 obtenemos los datos mensuales de energía perdida por el captador, reflejados todos ellos en la tabla 39.

<i>Mes</i>	S	$F_R U_L$	F_r'/F_r	T_A	ΔT	K_1	K_2	E_p
Enero	3,8	0,0068	0,95	10,8	24	0,956	1,08	54,38
Febrero	3,8	0,0068	0,95	10,6	24	0,956	1,08	54,64
Marzo	3,8	0,0068	0,95	12,3	24	0,956	1,11	54,59
Abril	3,8	0,0068	0,95	13,5	24	0,956	1,13	55,03
Mayo	3,8	0,0068	0,95	15	24	0,956	1,15	55,25
Junio	3,8	0,0068	0,95	17,5	24	0,956	1,17	54,15
Julio	3,8	0,0068	0,95	19,1	24	0,956	1,24	56,41
Agosto	3,8	0,0068	0,95	19,4	24	0,956	1,23	56,02
Septiembre	3,8	0,0068	0,95	18,4	24	0,956	1,20	55,15
Octubre	3,8	0,0068	0,95	16,3	24	0,956	1,19	55,89
Noviembre	3,8	0,0068	0,95	13,3	24	0,956	1,14	55,46
Diciembre	3,8	0,0068	0,95	11,4	24	0,956	1,12	55,77

Tabla 39 – Energía perdida por el captador

Mediante la fórmula 18 se calcula el parámetro D_2 para todos los meses del año, reflejados todos ellos en la tabla 40.

<i>Mes</i>	E_p	Q_a	D_2
Enero	54,38	2917,13	0,0186
Febrero	54,64	2634,83	0,0207
Marzo	54,59	2911,54	0,0187
Abril	55,03	338,26	0,1627
Mayo	55,25	343,95	0,1606
Junio	54,15	327,44	0,1654
Julio	56,41	327,17	0,1724
Agosto	56,02	327,17	0,1712
Septiembre	55,15	322,03	0,1713
Octubre	55,89	337,93	0,1654
Noviembre	55,46	2812,21	0,0197
Diciembre	55,77	2911,54	0,0192

Tabla 40 – Valores del parámetro D_2

10.2.1.3. Cálculo de la fracción de carga calorífica mensual

Mediante la fórmula 19 se calcula el valor de fracción de carga calorífica mensual, estando estos reflejados en la tabla 41.

<i>Mes</i>	D_1	D_2	F
Enero	0,0393	0,0186	0,0389
Febrero	0,0656	0,0207	0,0651
Marzo	0,1014	0,0187	0,1006
Abril	1,1589	0,1627	0,8864
Mayo	1,3825	0,1606	0,9998
Junio	1,5788	0,1654	1,0878
Julio	1,6573	0,1724	1,1002
Agosto	1,4268	0,1712	1,0208
Septiembre	1,0940	0,1713	0,8495
Octubre	0,6898	0,1654	0,5896
Noviembre	0,0511	0,0197	0,0506
Diciembre	0,0372	0,0192	0,0367

Tabla 41 – Fracción de carga calorífica mensual

10.2.1.4. Cálculo de la energía útil captada

Mediante la fórmula 20 se calcula el valor de la energía útil captada para todos los meses, estando estos reflejados en la tabla 42.

<i>Mes</i>	<i>F</i>	<i>Q_a</i>	<i>Q_u</i>
Enero	0,0389	2917,13	113,38
Febrero	0,0651	2634,83	171,52
Marzo	0,1006	2911,54	292,90
Abril	0,8864	338,26	299,83
Mayo	0,9998	343,95	344,21
Junio	1,0878	327,44	356,19
Julio	1,1002	327,17	366,16
Agosto	1,0208	327,17	333,98
Septiembre	0,8495	322,03	273,58
Octubre	0,5896	337,93	199,23
Noviembre	0,0506	2812,21	142,35
Diciembre	0,0367	2911,54	106,75

Tabla 42 – Energía útil mensual captada

10.3. Geotermia

Para el cálculo de la instalación geotérmica tomaremos como referencia las necesidades térmicas calculadas en la tabla 34, éstas son las correspondientes a las necesidades con calefacción de suelo radiante y ACS.

10.3.1. Cálculo potencia calorífica necesaria

La potencia calorífica necesaria para cada mes calculada mediante la ecuación 22 viene reflejada en la tabla 43.

<i>Mes</i>	<i>Q_a</i>	<i>N</i>	<i>h</i>	<i>P_c</i>
Enero	2633,57	31	10	8495,38
Febrero	2378,71	28	10	8495,38
Marzo	2628,52	31	10	8479,10
Abril	305,38	30	10	1017,94
Mayo	310,51	31	10	1001,65
Junio	295,61	30	10	985,37
Julio	295,37	31	10	952,81
Agosto	295,37	31	10	952,81
Septiembre	290,73	30	10	969,09
Octubre	305,08	31	10	984,14
Noviembre	2538,84	30	10	8462,81
Diciembre	2628,52	31	10	8479,10

Tabla 43 – Potencia calorífica necesaria

10.3.2. Temperatura máxima de entrada del evaporador

La temperatura de entrada al evaporador correspondiente a cada mes de invierno calculada con la ecuación 23 viene reflejada en la tabla 44.

Mes	P_c	COP	C_p	ρ	m	T_s	T_e
Enero	8495,38	4,9	3730	1035,02	0,0005861	0	-2,99
Febrero	8495,38	4,9	3730	1035,02	0,0005861	0	-2,99
Marzo	8479,10	4,9	3730	1035,02	0,0005861	0	-2,98
Noviembre	8462,81	4,9	3730	1035,02	0,0005861	0	-2,98
Diciembre	8479,10	4,9	3730	1035,02	0,0005861	0	-2,98

Tabla 44 – Temperatura de entrada del evaporador

10.3.3. Longitud de la sonda geotérmica vertical

Previamente al cálculo de las sondas verticales se deben conocer la resistencia térmica de la tubería, el factor de carga de la instalación y la resistividad térmica del suelo.

1. Factor de carga de la instalación.

El factor de carga de la instalación geotérmica correspondiente a cada mes calculada mediante la ecuación 26 viene reflejado en la tabla 45.

Mes	P_c	P_b	F
Enero	8495,38	9300	0,9135
Febrero	8495,38	9300	0,9135
Marzo	8479,10	9300	0,9117
Noviembre	8462,81	9300	0,9100
Diciembre	8479,10	9300	0,9117

Tabla 45 – Factor de carga de la instalación

Las longitudes de sonda necesarias, calculadas con la ecuación 27, vienen reflejadas en la tabla 46.

Mes	P_c	F	R_t	R_s	T_{med}	T_{Tmax}	L
Enero	8495,3799	0,913	0,013	0,33	11,5	-1,5	163,70
Febrero	8495,3799	0,913	0,013	0,33	11,5	-1,5	163,70
Marzo	8479,0972	0,912	0,013	0,33	11,5	-1,5	163,09
Noviembre	8462,8144	0,91	0,013	0,33	11,5	-1,5	162,47
Diciembre	8479,0972	0,912	0,013	0,33	11,5	-1,5	163,09

Tabla 46 – Longitud de las sondas verticales

TÍTULO: ESTUDIO DE LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA PARA UNA VIVIENDA

PLANOS

PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

AVDA. 19 DE FEBREIRO, S/N

15405 - FERROL

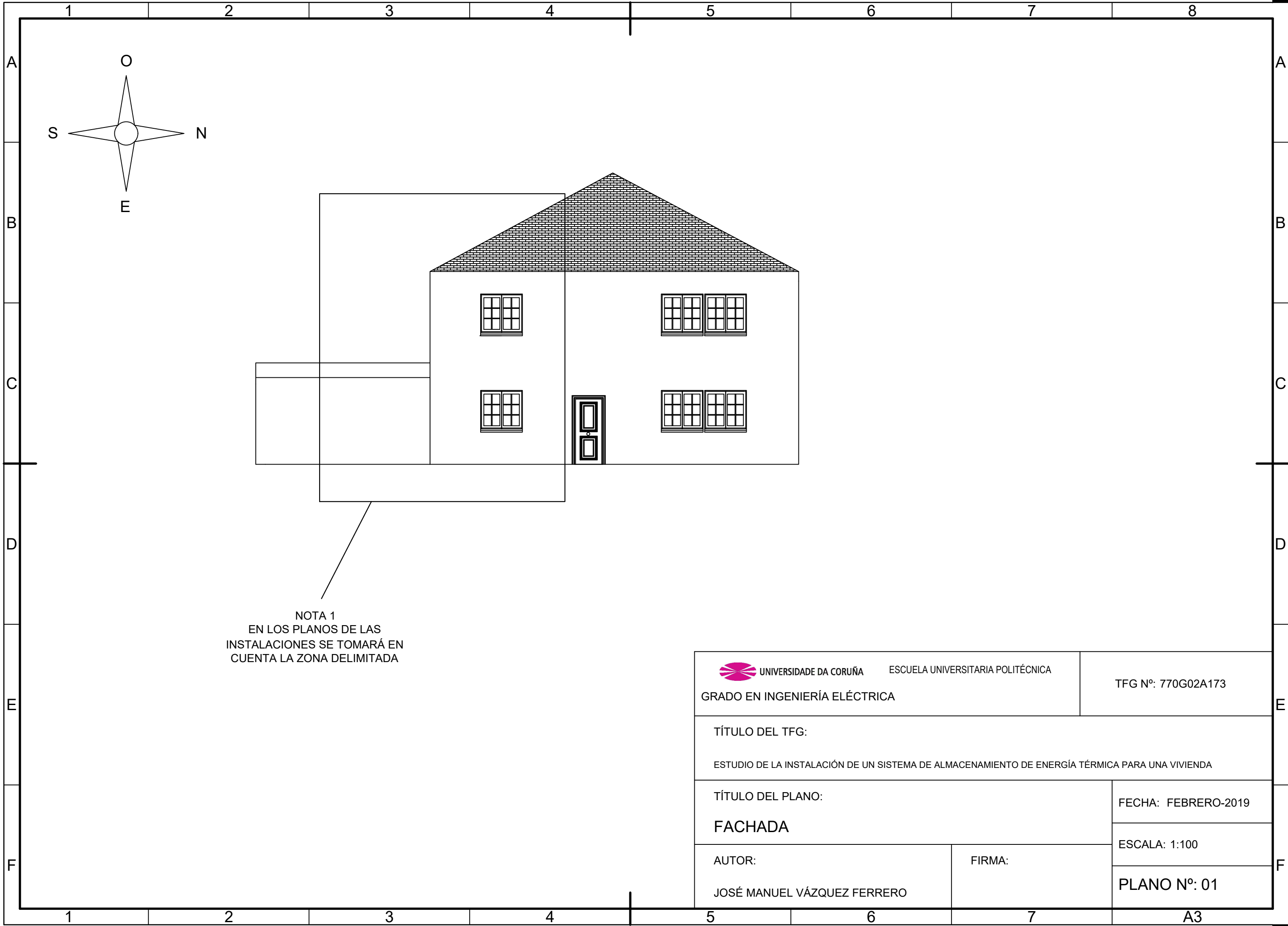
FECHA: FEBRERO DE 2019


AUTOR: EL ALUMNO

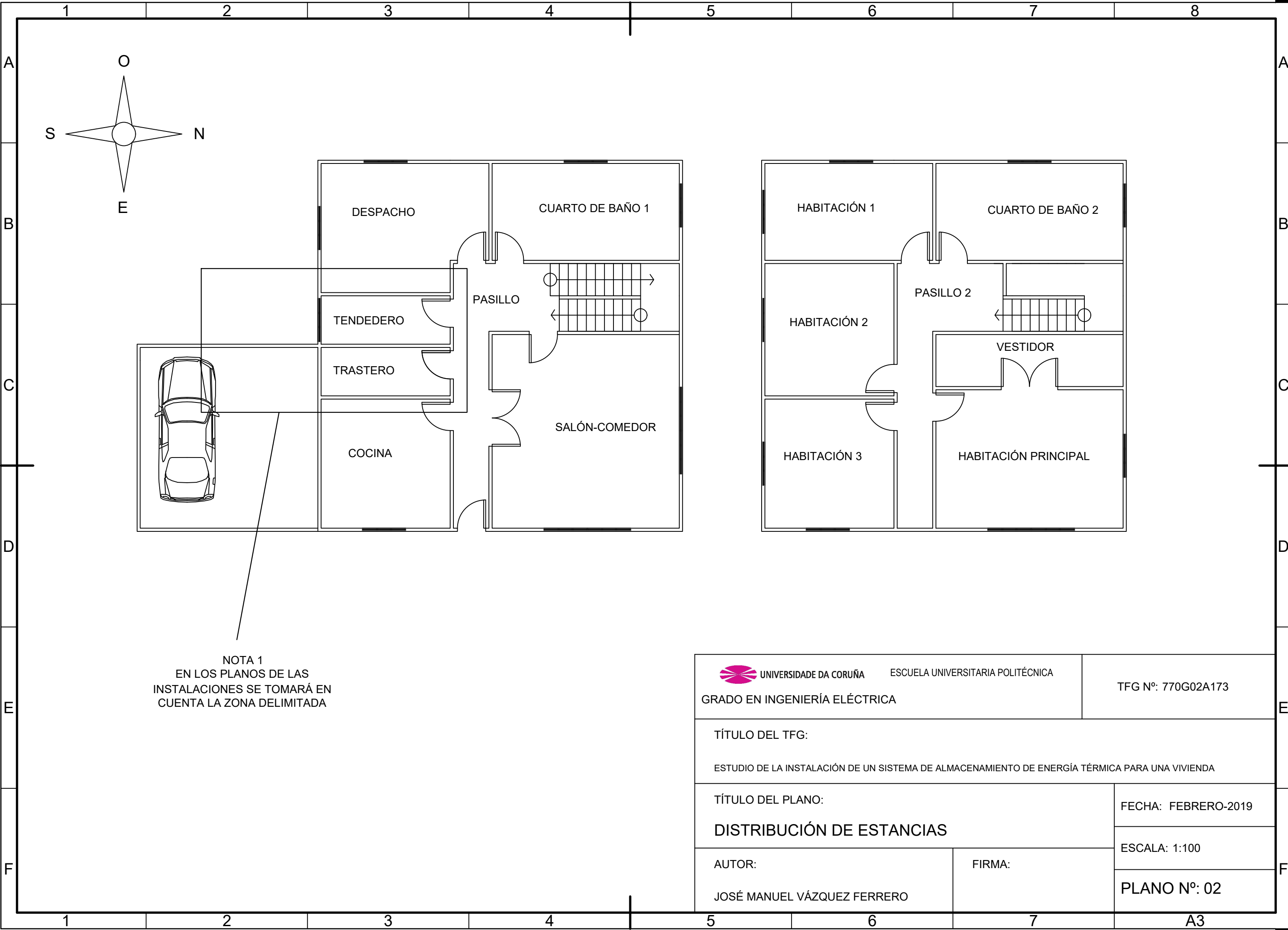
Fdo.: JOSÉ MANUEL VÁZQUEZ FERRERO

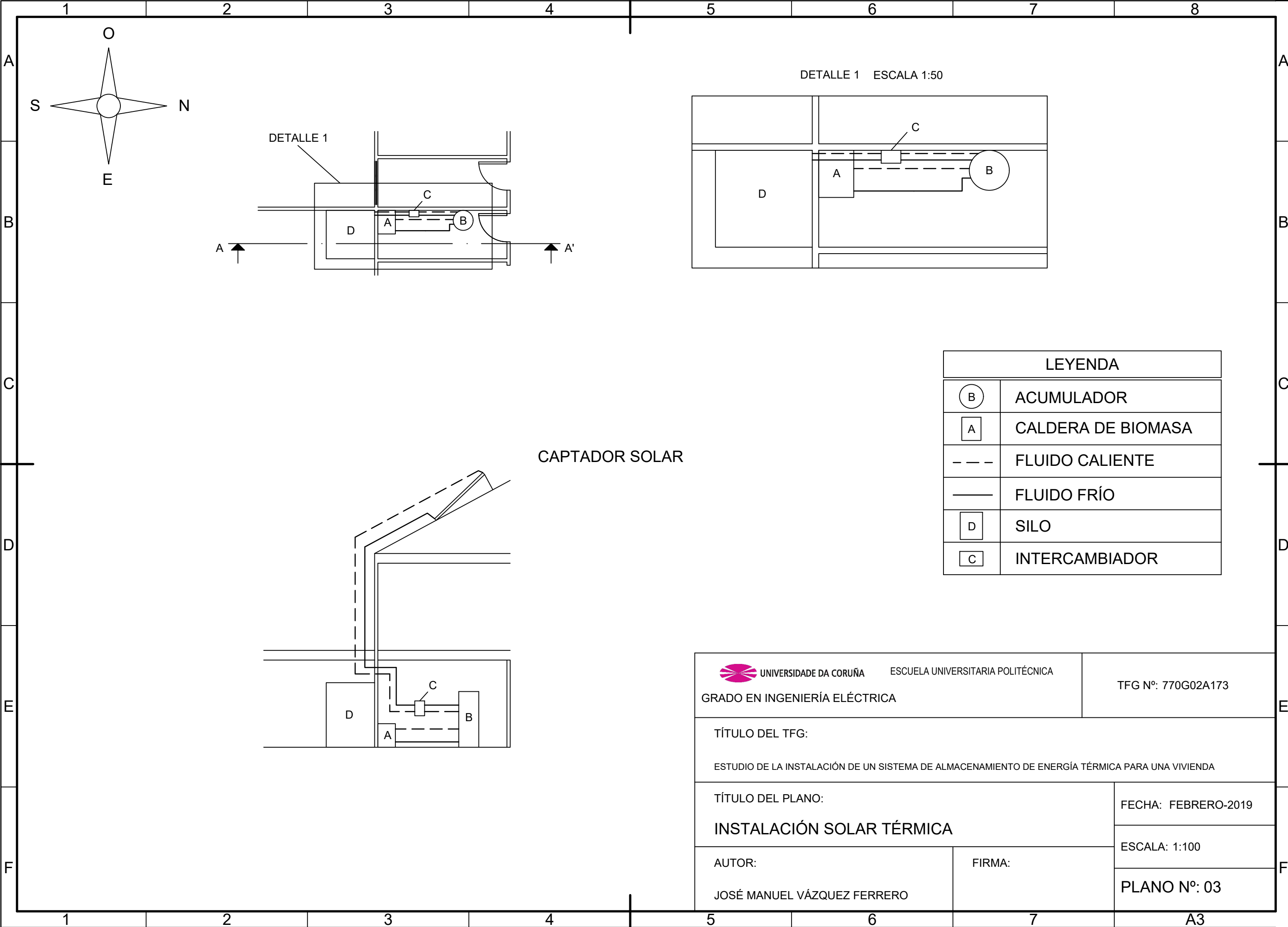
Índice de planos

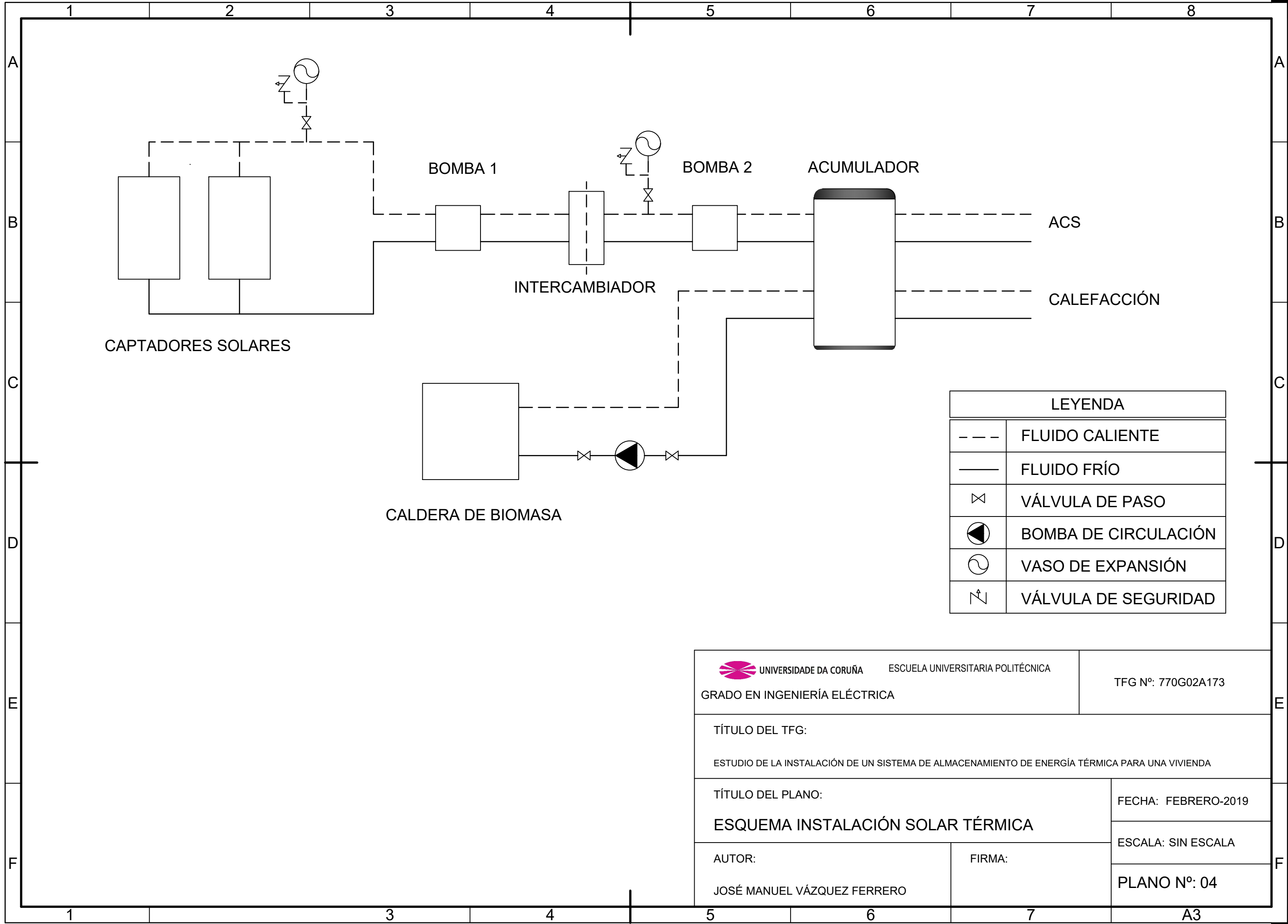
1 Fachada	121
2 Distribución	123
3 Instalación solar térmica	125
4 Esquema de la instalación solar térmica	127
5 Instalación geotérmica	129
6 Esquema de la instalación geotérmica	131

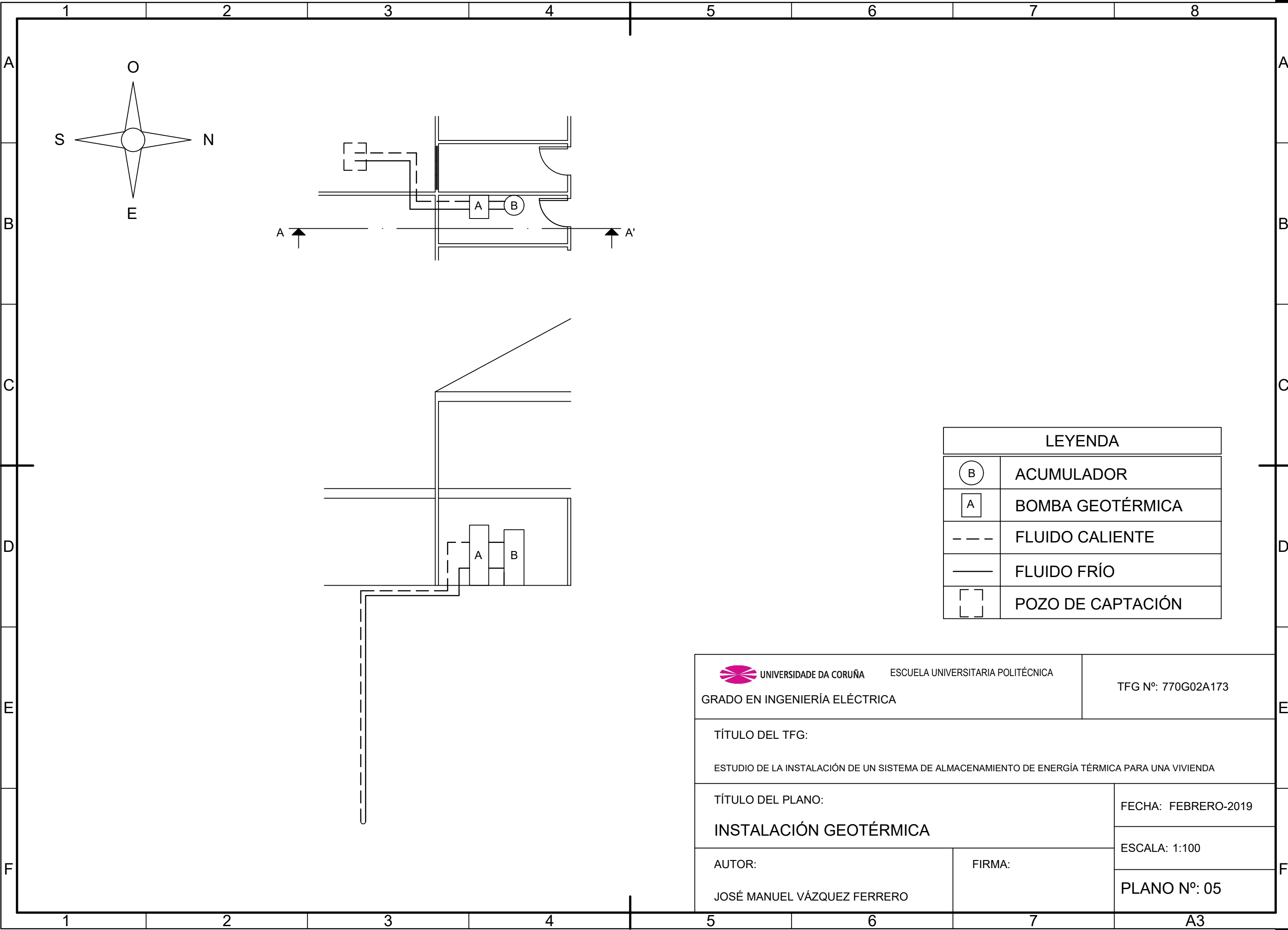


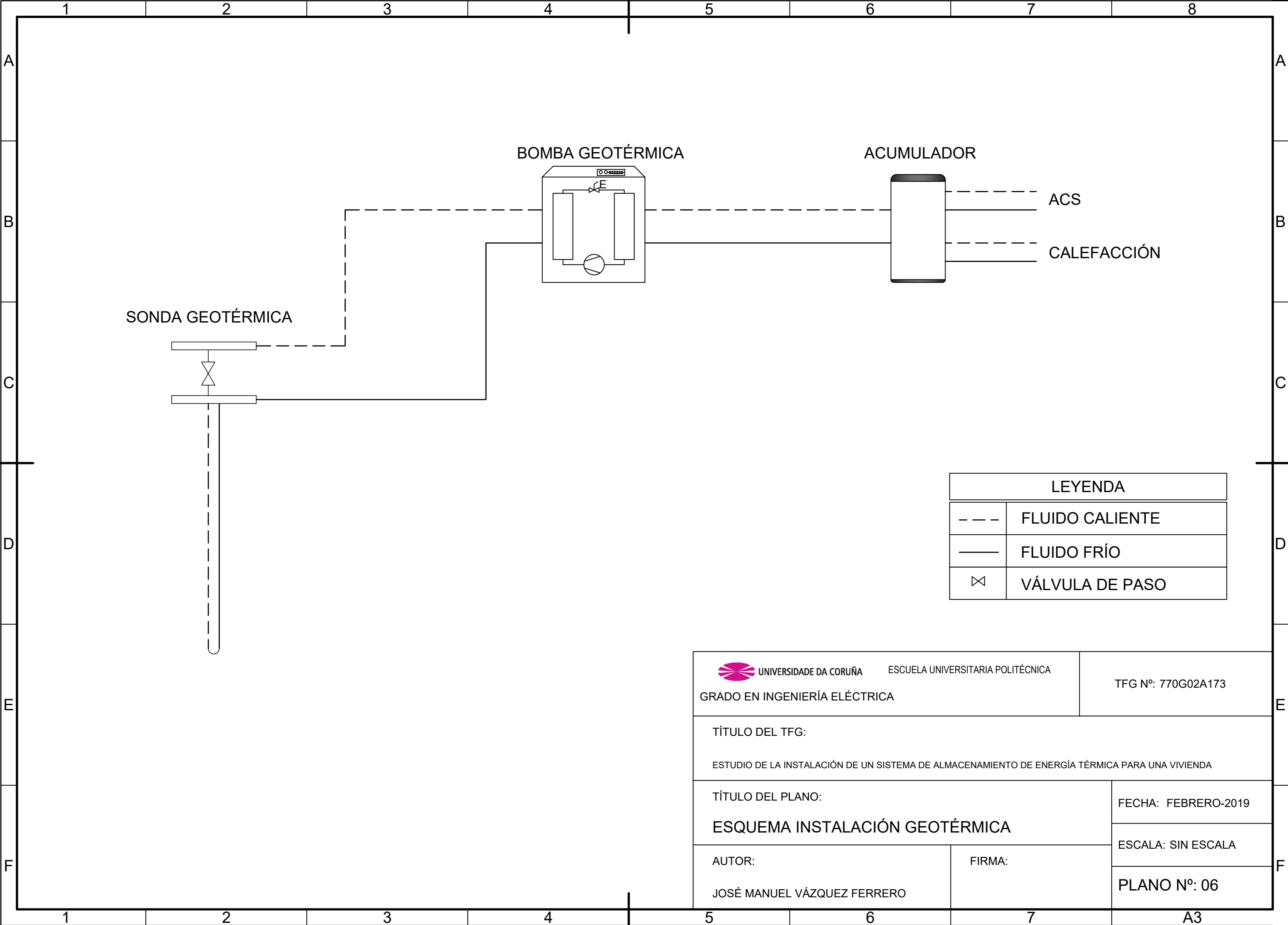
 UNIVERSIDADE DA CORUÑA		ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA	TFG Nº: 770G02A173
GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA			
TÍTULO DEL TFG:			
ESTUDIO DE LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA PARA UNA VIVIENDA			
TÍTULO DEL PLANO:			FECHA: FEBRERO-2019
FACHADA			ESCALA: 1:100
AUTOR:	FIRMA:		PLANO Nº: 01
JOSÉ MANUEL VÁZQUEZ FERRERO			











TÍTULO: ESTUDIO DE LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA PARA UNA VIVIENDA

PLIEGO DE CONDICIONES

PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

AVDA. 19 DE FEBREIRO, S/N

15405 - FERROL

FECHA: FEBRERO DE 2019

AUTOR: EL ALUMNO

Fdo.: JOSÉ MANUEL VÁZQUEZ FERRERO

Índice del documento PLIEGO DE CONDICIONES

11 Pliego de condiciones

137

11 Pliego de condiciones

El pliego de condiciones es el documento por el cual se definen las características técnicas para la ejecución de las obras, indicando con carácter general las obligaciones de las partes que intervienen en la ejecución del proyecto.

En el presente TFG no aplica el pliego de condiciones debido a que se trata de un estudio de las diferentes soluciones y no de una instalación real.

TÍTULO: ESTUDIO DE LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA PARA UNA VIVIENDA

MEDICIONES

PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

AVDA. 19 DE FEBREIRO, S/N

15405 - FERROL

FECHA: FEBRERO DE 2019

AUTOR: EL ALUMNO

Fdo.: JOSÉ MANUEL VÁZQUEZ FERRERO

Índice del documento MEDICIONES

12 Estado de las mediciones	143
12.1 Instalación solar térmica	143
12.2 Instalación geotérmica	144

12 Estado de las mediciones

En el apartado estado de las mediciones del TFG se indican los elementos necesarios para la realización de la instalación correspondiente. En él se diferenciarán las instalaciones solar térmica de la geotérmica.

12.1. Instalación solar térmica

Concepto	Unidades	Descripción
Panel solar	2	Incluye: Panel solar de 1,9 m^2 y soportes
Gas refrigerante 134a	1	Incluye: 12 kg de gas R134a
Kit bomba solar	2	Incluye: Bomba de circulación de ida y de retorno, termómetro, manómetro, válvulas de seguridad, válvulas antiretorno y válvulas de cierre
Vaso de expansión	2	Incluye: Un vaso de expansión de 5 litros y otro de 12 litros
Intercambiador de calor	1	Incluye: Intercambiador
Acumulador	1	Incluye: Depósito acumulador
Caldera de biomasa	1	Incluye: Caldera de biomasa, silo para combustible y bomba de circulación
Instalación suelo radiante	1	Incluye: Elemento base aislante, tubería del circuito radiante, distribuidor para suelo radiante, armario para distribuidor, aditivo para suelo radiante, tira perimetral para eliminar los puentes térmicos, termostatos, accionamientos electrónicos, placa electrónica y pequeño material tales como codos, válvulas, etc

Tabla 47 – Estado de mediciones de los elementos de la instalación solar térmica

Concepto	Unidades	Descripción
Tubería	27	Incluye: Tuberías flexibles preaisladas de acero para conexonado

Tabla 48 – Estado de mediciones de las tuberías de la instalación solar térmica

12.2. Instalación geotérmica

Concepto	Unidades	Descripción
Bomba geotérmica	1	Incluye: Bomba de circulación del circuito de la fuente de calor, bomba de circulación del circuito de calefacción, circuito refrigerante, válvulas de seguridad, válvulas antiretorno, válvulas de cierre, vaso de expansión en ambos circuitos y sistema de control
Instalación suelo radiante	1	Incluye: Elemento base aislante, tubería del circuito radiante, distribuidor para suelo radiante, armario para distribuidor, aditivo para suelo radiante, tira perimetral para eliminar los puentes térmicos, termostatos, accionamientos electrónicos, placa electrónica y pequeño material tales como codos, válvulas, etc
Sonda geotérmica vertical	1	Incluye: Sonda geotérmica vertical PEX de 100 m, tubo de inyección, lastres de la sonda vertical, mortero de bentonita y cemento para relleno y pozo de captación
Acumulador	1	Incluye: Depósito acumulador

Tabla 49 – Estado de mediciones de los elementos de la instalación geotérmica

Concepto	Unidades	Descripción
Tubería PEX	13	Incluye: Tuberías de conexonado entre los diferentes elementos fabricadas en PEX

Tabla 50 – Estado de mediciones de las tuberías de la instalación geotérmica

TÍTULO: ESTUDIO DE LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA PARA UNA VIVIENDA

PRESUPUESTO

PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

AVDA. 19 DE FEBREIRO, S/N

15405 - FERROL

FECHA: FEBRERO DE 2019

AUTOR: EL ALUMNO

Fdo.: JOSÉ MANUEL VÁZQUEZ FERRERO

Índice del documento PRESUPUESTO

13 Precios unitarios de materiales y elementos auxiliares de la instalación solar térmica	149
14 Precios unitarios de materiales y elementos auxiliares de la instalación geotérmica	151
15 Precio de la mano de obra	152
16 Presupuesto	153
16.1 Presupuesto de la instalación solar térmica	153
16.2 Presupuesto de la instalación geotérmica	154

13 Precios unitarios de materiales y elementos auxiliares de la instalación solar térmica

Los costes de la instalación por unidad es:

■ Captador solar térmico

Concepto	Precio/unidad	Num elementos	Coste
Panel solar térmico	465 €/Ud	2	930 €
Soportes para techo	62,85 €/Ud	2	125,7 €
TOTAL			1055,7 €

Tabla 51 – Precio por unidad de los captadores solares térmicos

■ Kit bomba solar

Concepto	Precio/unidad	Num elementos	Coste
KIT bomba solar	470 €/Ud	2	940 €
TOTAL			940 €

Tabla 52 – Precio por unidad del kit de bomba solar

■ Intercambiador de calor

Concepto	Precio/unidad	Num elementos	Coste
Intercambiador 10kW	223 €/Ud	1	223 €
TOTAL			223 €

Tabla 53 – Precio por unidad del intercambiador de calor

■ Vaso de expansión

Concepto	Precio/unidad	Num elementos	Coste
Vaso de expansión 5L	16 €/Ud	1	16 €
Vaso de expansión 12L	20,68 €/Ud	1	20,68 €
TOTAL			36,68 €

Tabla 54 – Precio por unidad del vaso de expansión

■ Acumulador

Concepto	Precio/unidad	Num elementos	Coste
Acumulador	1707 €/Ud	1	1707 €
TOTAL			1707 €

Tabla 55 – Precio por unidad del acumulador

■ Caldera de biomasa

Concepto	Precio/unidad	Num elementos	Coste
Caldera de biomasa de 10kW	2879 €/Ud	1	2879 €
Silo para pellets	1150 €/Ud	1	1150 €
TOTAL			4029 €

Tabla 56 – Precio por unidad de la caldera de biomasa

■ Bomba circulación de la caldera

Concepto	Precio/unidad	Num elementos	Coste
Bomba de circulación de la caldera	420.79 €/Ud	1	420.79 €
TOTAL			420.79 €

Tabla 57 – Precio por unidad de la bomba de circulación de la caldera

■ Suelo radiante

*No están desarrollados los precios por elemento debido a que es un presupuesto solicitado a una empresa.

Concepto	Precio/unidad	Num elementos	Coste
Elemento base aislante	*	*	*
Tubería del circuito	*	*	*
Distribuidor	*	*	*
Armario	*	*	*
Aditivo	*	*	*
Tira perimetral	*	*	*
Termoestatos	*	*	*
Accionamiento electrónicos	*	*	*
Placa electrónica	*	*	*
Pequeño material	*	*	*
TOTAL			5063,5 €

Tabla 58 – Precio por unidad del suelo radiante

■ Tuberías de acero de conexión

Concepto	Precio/unidad	Num elementos	Coste
Tuberías de conexionado	26,3 €/m	27	710,1 €
TOTAL			710,1 €

Tabla 59 – Precio por unidad de las tuberías de conexionado

■ **Fluido refrigerante**

Concepto	Precio/unidad	Num elementos	Coste
Fluido refrigerante R134a	289 €/Ud	1	289 €
TOTAL			289 €

Tabla 60 – Precio por unidad fluido refrigerante

14 Precios unitarios de materiales y elementos auxiliares de la instalación geotérmica

Los costes de la instalación por unidad es:

■ **Sonda geotérmica vertical**

Concepto	Precio/unidad	Num elementos	Coste
Sonda geotérmica	1925 €/Ud	1	1925 €
Tubo de inyección	1,24 €/m	102	126,48 €
Lastres para sonda vertical	55,01 €/Ud	1	55,01 €
Mortero de bentonita y cemento	0,7 €/Kg	1800	1260 €
Pozo de captación	40 €/m	100	4000 €
TOTAL			7366,49 €

Tabla 61 – Precio por unidad de la sonda geotérmica vertical

■ **Bomba geotérmica**

Concepto	Precio/unidad	Num elementos	Coste
Bomba geotérmica	8165 €/Ud	1	8165 €
TOTAL			8165 €

Tabla 62 – Precio por unidad de la bomba geotérmica

■ Acumulador

Concepto	Precio/unidad	Num elementos	Coste
Acumulador	1707 €/Ud	1	1707 €
TOTAL			1707 €

Tabla 63 – Precio por unidad del acumulador

■ Suelo radiante

*No están desarrollados los precios por elemento debido a que es un presupuesto solicitado a una empresa.

Concepto	Precio/unidad	Num elementos	Coste
Elemento base aislante	*	*	*
Tubería del circuito	*	*	*
Distribuidor	*	*	*
Armario	*	*	*
Aditivo	*	*	*
Tira perimetral	*	*	*
Termoestatos	*	*	*
Accionamiento electrónicos	*	*	*
Placa electrónica	*	*	*
Pequeño material	*	*	*
TOTAL			5063,5 €

Tabla 64 – Precio por unidad del suelo radiante

■ Tuberías de conexión

Concepto	Precio/unidad	Num elementos	Coste
Tubería de conexión PEX	6,24 €/m	13	81,12 €
TOTAL			81,12 €

Tabla 65 – Precio por unidad de las tuberías

15 Precio de la mano de obra

La realización del TFG lleva unos gastos de ingeniería, para ello se estima el precio de la hora del alumno de ingeniería eléctrica a 28 €/h.

Concepto	Precio/unidad	Num elementos	Coste
Recopilación de información	28 €/h	80	2240 €
Cálculos	28 €/h	80	2240 €
Diseño	28 €/h	55	1540 €
Redacción	28 €/h	35	980 €
TOTAL			7000 €

Tabla 66 – Precio de la mano de obra

16 Presupuesto

16.1. Presupuesto de la instalación solar térmica

El presupuesto de la instalación solar térmica propuesta en el TFG es:

■ Generación

Concepto	Coste
Captador solar	1055,7 €
Intercambiador solar	223 €
Caldera de biomasa	4029 €
TOTAL	5307,7 €

Tabla 67 – Presupuesto de generación de la instalación solar térmica

■ Distribución

Concepto	Coste
Tubería de conexión de acero	710,1 €
Kit bomba solar	940 €
Fluido refrigerante	289 €
Bomba de circulación de la caldera	420,79 €
Vasos de expansión	36,68 €
TOTAL	2396,57 €

Tabla 68 – Presupuesto de distribución de la instalación solar térmica

■ Acumulación y consumo

Concepto	Coste
Suelo radiante	5063,50 €
Acumulador	1707 €
TOTAL	6770,5 €

Tabla 69 – Presupuesto de acumulación y consumo de la instalación solar térmica

■ **Diseño**

Concepto	Coste
Elaboración proyecto	7000 €
TOTAL	7000 €

Tabla 70 – Presupuesto de diseño de la instalación solar térmica

■ **Total**

Concepto	Coste
Generación	5307,7 €
Distribución	2396,57 €
Acumulación y Consumo	6770,5 €
Diseño	7000 €
Total sin I.V.A	21474,77 €
Total con I.V.A (21 %)	25984,47 €

Tabla 71 – Presupuesto total de la instalación solar térmica

16.2. Presupuesto de la instalación geotérmica

El presupuesto de la instalación geotérmica propuesta en el TFG es:

■ **Generación**

Concepto	Coste
Sonda geotérmica	7366,49 €
Bomba geotérmica	8165 €
TOTAL	15531,49 €

Tabla 72 – Presupuesto de generación de la instalación geotérmica

■ **Distribución**

Concepto	Coste
Tubería de conexión PEX	81,12 €
TOTAL	81,12 €

Tabla 73 – Presupuesto de distribución de la instalación geotérmica

■ **Acumulación y consumo**

Concepto	Coste
Suelo radiante	5063,50 €
Acumulador	1707 €
TOTAL	6770,5 €

Tabla 74 – Presupuesto de acumulación y consumo de la instalación geotérmica

■ **Diseño**

Concepto	Coste
Elaboración proyecto	7000 €
TOTAL	7000 €

Tabla 75 – Presupuesto de diseño de la instalación geotérmica

■ **Total**

Concepto	Coste
Generación	15531,49 €
Distribución	81,12 €
Acumulación y Consumo	6770,5 €
Diseño	7000 €
Total sin I.V.A	29383,11 €
Total con I.V.A (21 %)	35553,5631 €

Tabla 76 – Presupuesto de la instalación geotérmica